

---

# **BACHELORARBEIT**

---

Herr/Frau  
**Mathias Geck**

**LED-Licht in Film und Fernsehen -  
Chancen und Risiken**

2011

---

# **BACHELORARBEIT**

---

## **LED-Licht in Film und Fernsehen - Chancen und Risiken**

Autor:  
**Mathias Geck**

Studiengang:  
**Angewandte Medienwirtschaft**

Seminargruppe:  
**AM05wT6-B**

Erstprüfer:  
**Prof.-Dr. Ing. Rainer Zschockelt**

Zweitprüfer:  
**Michael Schauffert**

Einreichung:  
Mittweida, 09.12.2011

---

# **BACHELOR THESIS**

---

## **LED-Light in Film and Television - Chances and Risks**

author:  
**Mathias Geck**

course of studies:  
**Applied Media Economics**

seminar group:  
**AM05wT6-B**

first examiner:  
**Prof.-Dr. Ing. Rainer Zschockelt**

second examiner:  
**Michael Schauffert**

submission:  
Mittweida, 09.12.2011

Bibliografische Angaben

Geck, Mathias

### **LED-Licht in Film und Fernsehen - Chancen und Risiken**

LED-Light in Film and Television - Chances and Risks

2011 - 95 Seiten

Mittweida, Hochschule Mittweida (FH), University of Applied Sciences,  
Fakultät Medien, Bachelorarbeit, 2011

## **Abstract**

Diese Arbeit befasst sich mit den Vorteilen und Risiken der LED-Technologie als Beleuchtungsmittel für Film- und Fernsehproduktionen.

Lichttheoretische Grundlagen vermitteln zunächst ein Informationsfundament und dienen dem Verständnis der spezifischen Problematiken von Leuchtdioden in diesem Bereich. Anschließend wird die LED-Technik näher beschrieben und eine Übersicht der darauf basierenden Film- und Fernsehleuchten und ihrer Abwandlungen geliefert. Ein Praxisanalyse untersucht anhand von Expertenmeinungen und einer eigenen Versuchsreihe des Autors die Problematiken der meisten derzeitigen LED-Leuchten beim Einsatz in Film, Fernsehen und Fotografie.

Als Fazit dieser Arbeit stellt sich heraus, dass viele derzeitige Modelle Defizite im Bereich der Farbwiedergabe haben. Die Auswirkungen sind jedoch der in dieser Arbeit stattfindenden Analyse nach bei vielen Einsatzgebieten im tolerierbaren Bereich und können durch Beachtung bestimmter Regeln minimiert werden. Zudem lässt der rasant technische Fortschritt im Bereich LED ahnen, dass diese in naher Zukunft auf breiter Ebene gelöst sein werden.



## Vorwort

Vor dem Hintergrund eines Kameramannes, der mit digitaler Aufzeichnung aufgewachsen ist, fand ich mich in den letzten Jahren am Set in einer verwunderlichen Situation wieder: Meine digitale Kamera der neuesten Generation konnte in vielen Fällen mit allem Zubehör unter 5 Kilo wiegen, schnell einzurichten sein und mit wenigen kleinen Akkus langen Drehtagen standhalten – bei einer „leinwandtauglichen“ Qualität mit cineastischem Bildcharakter. Die gesamteameratechnik passte in zwei kleine, leichte Koffer.

Im Gegensatz dazu stand ein Lichtpark, der selbst bei kleineren Produktionen Lieferwagen füllten konnte, schwer, stromhungrig und Hitze erzeugend war und von mehreren dedizierten Arbeitern bedient werden musste. Die grundlegende Technik der meisten Lampen war im Gegensatz zu derameratechnik über fünfzig Jahre alt.

In der jüngsten Zeit jedoch überschlugen sich auch in der Film-, beziehungsweise Fernsehlichttechnik die Entwicklungen. Die LED-Technik hält dabei in jüngster Zeit intensiv Einzug in den Film- und Fernsehbereich und verspricht, Filmlicht leichter und energieeffizienter zu machen – die entscheidende Frage ist jedoch: Werden die Versprechungen der Hersteller in der Praxis erfüllt?

Diese Frage hat mich aus meiner beruflichen Praxis heraus beschäftigt und soll für den Leser dieser Arbeit so praxisnah wie möglich mit einem umfassenden Blick auf den aktuellen Stand der Entwicklung beantwortet werden.

An dieser Stelle möchte ich einen großen, herzlichen Dank an alle ausrichten, die *mir* bei der Beantwortung dieser Fragen im Kontext der Bachelorarbeit behilflich waren. An erster Stelle meinem Dozenten und Zweitprüfer Michael Schaufert, der mir in der Bearbeitungszeit mit endloser Geduld und Initiative unzählige wertvolle Ratschläge erteilt hat und mich bei dem Praxistest in dieser Arbeit sehr unterstützt hat.

Zudem möchte ich Dedo Weigert einen großen Dank für das extrem lehrreiche Interview und seine wertvolle Zeit bestellen.

Ein großer Dank gebührt auch Daniel Mischke, der mir seine Technik für den Test zur Verfügung gestellt hat. Und auch ganz besonders meiner lieben Freundin Julia, die dem Testteil „ein Gesicht gegeben“ und mich in dieser Arbeit immerzu motiviert und bestärkt hat.

Und zu guter Letzt natürlich: Dankeschön an meine Familie für die Durchhalteparolen und die lieben Worte!

# Inhaltsverzeichnis

<b>Abstract.....</b>	<b>IV</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis.....</b>	<b>VIII</b>
<b>Abbildungsverzeichnis.....</b>	<b>X</b>
<b>Tabellenverzeichnis.....</b>	<b>XII</b>
<b>1 Einleitung.....</b>	<b>1</b>
<b>2 Grundlagen der Lichttechnik im Film- und Fernsbereich.....</b>	<b>4</b>
2.1 Das Spektrum des Lichts.....	4
2.2 Colour Rendering Index (CRI).....	6
2.3 Die Grundlagen der Farbwiedergabe bei Film und CCD-/CMOS-Sensoren.....	9
2.4 Licht- & Leuchtenarten im Film- und Fernsbereich.....	12
2.4.1 Natürliches Licht/Sonnenlicht.....	12
2.4.2 Festkörperlampen (Kunstlicht, z. B. Halogenglühlampen).....	13
2.4.3 Hochdruck-Halogenmetaldampflampe (HMI).....	15
2.4.4 Leuchtstofflampen ("Kinoflo").....	16
2.4.5 LED-Leuchten.....	18
<b>3 LED-Leuchten im Film- und Fernsbereich.....</b>	<b>20</b>
3.1 Entwicklung der LED-Technologie.....	20
3.1.1 Monochromatische/farbige LEDs.....	20
3.1.2 Weißlicht-LEDs.....	21
3.1.3 Leistungssteigerung.....	22
3.2 LED-Bauformen.....	23
3.3 LED-Film-/Fernsbleuchten.....	26
3.3.1 LED-Flächenleuchten.....	26
3.3.2 LED-Scheinwerfer.....	28
<b>4 LED-Film-/Fernsblampen in der Praxis.....</b>	<b>32</b>
4.1 grundlegende Problempunkte.....	32
4.1.1 Farbwiedergabe.....	32
4.1.2 Der Farbindex CRI bei Leuchtmitteln mit diskontinuierlichem Spektrum .....	36

---

4.2	Praktische Erfahrungen: Solid State Lighting Project der AMPAS.....	36
4.2.1	Split Macbeth-Test (Fotoseite 2).....	37
4.2.2	Portrait-Test (Fotoseite 1).....	38
4.2.3	Ausstattungs-Test (Fotoseite 2):.....	40
4.2.4	Fazit der AMPAS.....	40
4.3	Interview mit Dedo Weigert.....	42
4.4	Praktische Erfahrungen: eigene Testreihe des Autors.....	47
4.4.1	Die sechs Versuchsmodelle.....	47
4.4.2	Versuchsanordnung Test 1: Spektralfotografie.....	50
4.4.2.1	Das Eigenbau-Spektrometer.....	50
4.4.2.1.1	Aufnahmen der Spektralfotografien.....	53
4.4.2.1.2	Nachbearbeitung/Aufbereitung der Spektralaufnahmen....	55
4.4.3	Versuchsanordnung Test 2: Vergleichsfotografien.....	60
4.4.3.1	Testaufbau 1: Einzelportraits (Eine Leuchte pro Bild).....	61
4.4.3.2	Testaufbau 2: Vergleichsportraits (Zwei Leuchten pro Bild). .	62
4.4.4	Test 1: Ergebnisse der Spektralfotografie.....	63
4.4.4.1	Allgemeine Beobachtungen.....	63
4.4.4.2	Ergebnisse der einzelnen Leuchten.....	64
4.4.5	Test 2: Ergebnisse der Vergleichsfotografien.....	66
4.4.5.1	Auswertung: Einzelportraits, Preset 5600°Kelvin.....	66
4.4.5.2	Auswertung: Einzelportraits, manueller Weißabgleich.....	68
4.4.5.3	Auswertung: Vergleichsportraits.....	71
4.4.6	Resümee der Ergebnisse.....	71
<b>5</b>	<b>Schluss.....</b>	<b>73</b>
	<b>Glossar.....</b>	<b>75</b>
	<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>X</b>
	<b>Eigenständigkeitserklärung.....</b>	<b>XIX</b>

## Abkürzungsverzeichnis

AMPAS	Academy of Motion Picture Arts and Sciences
COB	Chip on Board
CCD	Charge-Coupled Device
CMOS	Complementary Metal Oxide Semiconductor
CRI	Colour Rendering Index
DMX	Digital Multiplex
DSLR	Digitale Spiegelreflexkamera
HMI	Hydrargyrum Medium-Arc Iodide
ISO	International Organization for Standardization
JPG	Joint Photographic Experts Group
LCD	Liquid Crystal Display
LED	Light-Emitting Diode
LEP	Light-Emitting Plasma
LM	Lumen
NAB	National Association of Broadcasters
PSD	Photoshop Document
RGB	Rot-Grün-Blau
RGBA	Rot-Grün-Blau-Amber (Bernsteinfarben)
SMD	Surface Mount Device
TIFF	Tagged Image File Format
UV	Ultraviolett

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Das elektromagnetische Spektrum.....	4
Abbildung 2: Spektren von natürlichem Tageslicht (l.) und einer Quecksilberdampf- lampe (r.).....	6
Abbildung 3: Die Messfarben R1-R14 des „CRI“.....	7
Abbildung 4: Additive Farbmischung bei elektronischen Kameras.....	10
Abbildung 5: Subtraktive Farbmischung bei Filmmaterial .....	10
Abbildung 6: Spektralempfindlichkeiten bei verschiedenen Kamerasensoren (Sensor 1: Durchgängige Linie, Sensor 2: Gestrichelte Linie).....	12
Abbildung 7: Grundlegender Aufbau einer LED.....	21
Abbildung 8: T-Type-LED.....	24
Abbildung 9: SMD-Type-LED.....	25
Abbildung 10: COB-Type-LED.....	25
Abbildung 11: Litepanels 1x1-Panel, bestehend aus diversen T-Type-LEDs.....	28
Abbildung 12: Funktionsweise einer typischen LED-Stufenleuchte mit Fresnellinse....	30
Abbildung 13: Spektralkurven von dem Filmmaterial Kodak 5218 und Glühlicht.....	33
Abbildung 14: Resorptionskurven der Farben der genormten MacBeth-Farbtafel.....	34
Abbildung 15: Subtraktion bei den Farben Rot und Cyan.....	35
Abbildung 16: Spektralkurven von Multiband-LEDs und dem Filmmaterial Kodak 5218 .....	36
Abbildung 17: Aufbereitete Spektralaufnahmen unterschiedlicher Lichtquellen.....	52
Abbildung 18: Spektralaufnahme der TecPro Felloni ohne Nachbearbeitung.....	55
Abbildung 19: Auswahlbereich innerhalb einer Spektralfotografie.....	56
Abbildung 20: Aufbereitete Spektralaufnahme der TecPro Felloni.....	57

Abbildung 21: Einstellungen für ein das neue Dokument in Adobe Photoshop.....	57
Abbildung 22: Spektralvergleich kurz vor der Fertigstellung.....	59
Abbildung 23: Spektren der getesteten Leuchten in der Übersicht.....	63

## **Tabellenverzeichnis**

Tabelle 1: Wellenlängen des sichtbaren Lichtspektrums.....	5
Tabelle 2: Farbwiedergabeeigenschaften, Stufen und Klassen verschiedener Leuchten .....	9

# 1 Einleitung

Der 28.12.1895 gilt allgemein als der Tag der Geburt eines neuen Mediums: des Films. An diesem Tag veranstalteten die Brüder Lumière die erste öffentliche Filmvorführung auf Basis ihres neu erfundenen Kinematographen - eines Aufnahme- und Projektionsgerätes zugleich.

Dies war der Beginn einer bis zum heutigen Tag andauernden weltweiten Entwicklung von Filmgenres, Erzählstrukturen, Bildsprachen und unzähligen Erfindungen von Filmschaffenden weltweit, die das Medium "Film" auf den Stand gebracht haben, wie wir es vom Kino und dem heimischen TV-Bildschirm her heute kennen.

In der Geschichte des Films waren es immer wieder die technischen Innovationen, die vorangingen und den Filmemachern neue Gestaltungsmöglichkeiten und Ausdrucksmittel gegeben haben.

Das Licht spielte in den Pioniertagen des Films als erzählendes Element noch keine Rolle - gedreht wurde trotz generellen Vorhandenseins von Elektrizität im Tageslicht.

Erst mit der Elektrifizierung der Studios Anfang des 20. Jahrhunderts wurde die Lichtsetzung an sich zu einer eigenen Kunstform, die als emotionales Element des Großteils der heutigen Filme eine maßgebliche Rolle spielt.

Heutzutage steht Filmemachern eine kaum erfassbare Menge an Scheinwerfertypen zur Verfügung, die an der Spitze dieser Entwicklung stehen. Reflektoren und optische Systeme moderner High-Tech-Scheinwerfer sind heutzutage computerberechnet, es gibt Lichteinheiten für sämtliche Anwendungsbereiche und Lichtformen. Jeder der heute gängigen Lampentypen musste zig Überarbeitungen und Erweiterungen erfahren, um zu dem praxistauglichen Standardwerkzeug zu werden, als das er heute bei Kameralenten und Beleuchtern bekannt ist.

Nichtsdestotrotz basierten die dominierenden Filmscheinwerfer in Hinblick auf ihre Leuchtmittel bis vor Kurzem auf drei Technologien: Gasentladungslampen, Festkörperlampen und Neonlampen. Neben letzteren, die erst 1987 mit der Entwicklung der "Kinoflo" die notwendigen Charakteristika zum Einsatz für TV- und Filmzwecke bekamen, ist das Fundament der beiden anderen Leuchtmittel seit den 1960er Jahren weitestgehend unverändert.



Digitale Filmkameras hingegen sind einige Jahre nach den Fotokameras nun endlich an dem Punkt angekommen, der von Fachleuten lange Zeit prognostiziert worden ist: Sie ziehen qualitativ mit Film gleich. Mit ARRI hat im Oktober 2011 neben Panavision der zweite der beiden weltgrößten Kamerahersteller im Filmbereich verkündet, die Produktion von analogen Filmkameras vollständig einzustellen. Das Qualitätsargument im High-End-Bereich der Filmproduktion war viele Jahre über sämtliche Vorteile hinweg (direkte Einsehbarkeit des Materials, günstige Speichermedien) der Grund für 35mm-Film als dominierendes Medium im Kino.

Mit dem Umschwenken Hollywoods auf digitale Akquise ist besiegelt, dass Zelluloid in der Filmproduktion sehr bald die Rolle spielen wird, die es heute in der Fotografie spielt: Es wird ein Nischenprodukt für Puristen.

Doch neben den "Big Playern" der Filmindustrie sind es gerade die kleinen Independent-Filmmacher, die enorm von der Digitalisierung des Kinos profitieren. Mit den sich überstürzenden Entwicklungen auf der Aufnahmeseite, z.B. dem „DSLR-Hype“, der mit der digitalen Kamera Canon EOS 5D Mark II ausgelöst wurde, können Filmmacher mit geringem Budget Bilder in leinwandtauglicher Qualität mit cineastischem Charakter produzieren. Eine "Demokratisierung des Kinos" ist die logische Folge: Die Qualität von Filmen hängt weitaus weniger vom Budget des Produzenten ab, als eher von Talent und Fertigkeiten der Filmmacher.

Doch nach jahrelangem Ruhen gibt es in der jüngsten Zeit wieder große Umbrüche im Bereich des Filmlichts. Ein neuartiger Typ von Leuchtmitteln hält in jüngster Zeit besonders rasant Einzug bei Filmlampen: die Leuchtdiode (Light Emitting Diode), abgekürzt: LED.

Durch die Erfindung der Weißlicht emittierenden LEDs und der Leistungssteigerung durch die sogenannten High-Power-LEDs sind in den letzten Jahren die grundlegenden Voraussetzungen als Leuchtmittel für Film und Fernsehen erfüllt worden - die LED wird von vielen Kameralauten als Hoffnungsträger gesehen. Das Marketing der Hersteller schreibt den LED-Leuchten bessere Energieeffizienz, weniger Wärmeabstrahlung (gerade bei TV-Studios von großer Bedeutung), nahezu ewige Haltbarkeit der Leuchtmittel und viele weitere Vorteile gegenüber konventionellem Filmlicht zu.

Die LED-Technologie wird zurzeit von führenden Herstellern wie Osram mit immensem Innovationstempo weiterentwickelt, womit viele der heute existenten Probleme vermutlich in Labors bereits gelöst werden konnten. Diese Arbeit stellt also zwangsläufig eine

Momentaufnahme dar. Das Ziel dieser Arbeit ist für mich, die Vor- und Nachteile von heutigen LED-Leuchten im praktischen Einsatz am Set oder im Studio zu "beleuchten".

Um ein Gesamtbild zu schaffen, beschäftigt sich Kapitel II mit der Entwicklung der heute gängigen Filmlichtleuchtmittel.

In Kapitel III wird der entwicklungstechnische Weg der seit den 1970er-Jahren gängigen bunten LED-Signalleuchten hin zu den weißen High-Power-LEDs beschrieben. Kapitel IV befasst sich daraufhin mit dem rasanten Einzug dieser Technologie in Leuchten für Film und Fernsehen und stellt die heute gängigen LED-Filmlampentypen vor. Der praktische Teil dieser Arbeit folgt in Kapitel V. Aus den eigenen Erfahrungen des Autors als Kameramann und Recherchen heraus kann an dieser Stelle vorweggenommen werden, dass der größte Problempunkt der heutigen LED-Leuchten die Farbwiedergabe ist.

Dieser Punkt wird in dieser Arbeit herausstehend untersucht.

Dazu werden Testfotografien unter kontrollierten Studiobedingungen von kritischen Motiven mit LED- sowie konventionellen Filmleuchten jeweils unterschiedlicher Typen durchgeführt. Anschließend werden mittels Spektralfotografie die Spektren der wichtigsten gängigen LED-Filmlampen untersucht und miteinander verglichen. Dies wird die zuvor in den Fotoserien sichtbaren Effekte wissenschaftlich erläutern.

Die Auswertung beschäftigt sich aus diesen Beobachtungen heraus mit den Auswirkungen, die dies bei der Arbeit mit den heutigen LED-Filmleuchten mit sich bringt - und natürlich den praktisch angelegten Antworten auf die Fragen:

- Sollte ich LED-Leuchten bei meinem Film-/TV-Projekt einsetzen?
- Welche Leuchte sollte ich einsetzen und wofür?
- Was habe ich dabei zu beachten?
- Wofür sollte ich sie besser nicht einsetzen?

## 2 Grundlagen der Lichttechnik im Film- und Fernsehbereich

### 2.1 Das Spektrum des Lichts

Das für den Menschen und Film- wie auch Fernsehkameras sichtbare Licht ist eine elektromagnetische Energie, die einen verhältnismäßig kleinen Teil des gesamten Spektrums darstellt<sup>1</sup>. Innerhalb dieses Spektrums befinden sich daneben Radiowellen, Infrarotstrahlen, Ultraviolettstrahlen, Röntgenstrahlen und Gammastrahlen. Elektromagnetische Energie wird gewöhnlicherweise über die Wellenlänge definiert – der für den Menschen sichtbare Teil davon wird "Licht" genannt und befindet sich in den Bereichen von ca. 380-780nm Wellenlänge<sup>2</sup>. Die Wellenlänge bestimmt dabei die wahrgenommene Farbe des Lichtes<sup>3</sup>.

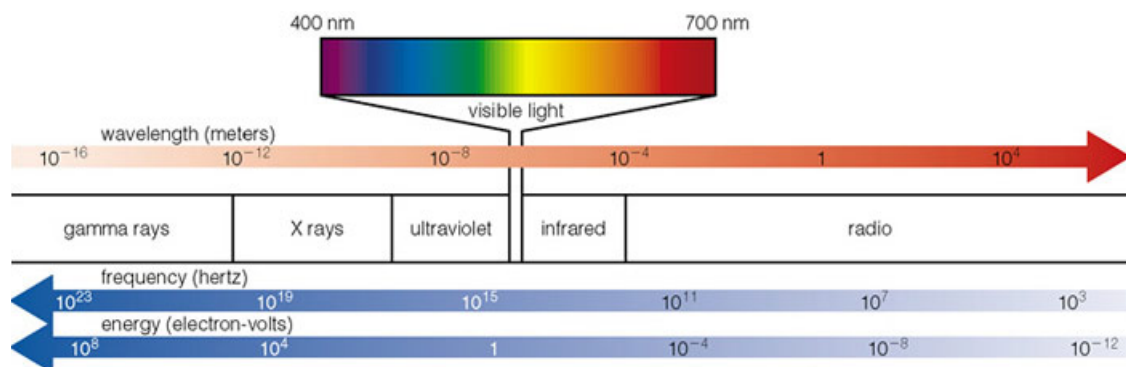


Abbildung 1: Das elektromagnetische Spektrum, Grafik: AMPAS

1 Mueller, J., *Handbuch der Lichttechnik*, 2004, S.43

2 ebd.

3 ebd.

Wellenlänge $\lambda$ (nm)	Farbe
380nm – 435 nm	Violett
435 nm - 495 nm	Blau
495 nm – 570 nm	Grün
570 nm – 590 nm	Gelb
590 nm – 630 nm	Orange
630 nm – 750 nm	Rot

**Tabelle 1: Wellenlängen des sichtbaren Lichtspektrums, Grafik: Der Verfasser**

In den seltensten Fällen jedoch, Beispiel ist neben LED-Licht z.B. Laser-Licht,<sup>4</sup> besteht Lichtstrahlung aus einer einzigen Wellenlänge; in der Regel besteht sie aus diversen Wellenlängen mit unterschiedlich ausgeprägten Intensitäten.<sup>5</sup>

Natürliches Tageslicht beispielsweise hat eine relativ gleichmäßige spektrale Struktur (Abb.2 links), Licht einer Quecksilberdampf Lampe hingegen (Abb.2 rechts) besitzt bei einigen Leuchtmitteln eine Struktur aus mehreren Spitzen<sup>6</sup> in bestimmten Frequenzbereichen, wohingegen andere fast überhaupt nicht vorhanden sind.<sup>7</sup>

1807 entwickelte der englische Physiker und Mediziner Thomas Young die Dreifarben-theorie, welche etwa 60 Jahre später durch den deutschen Physiker Hermann von Helmholtz entscheidend ergänzt wurde.<sup>8</sup>

Die Dreifarbentheorie basiert auf der Tatsache, dass im menschlichen Auge Rezeptoren für drei verschiedene Wellenlängen des Lichts existieren: Rot, Grün und Blau.<sup>9</sup> Aus anteiliger Mischung dieser drei Grundfarben lässt sich jede andere Farbe reproduzieren<sup>10</sup>. Wenn zu gleichen Teilen Rot, Grün und Blau gemischt werden, entsteht für das Auge die Farbe Weiß.<sup>11</sup> Dies nennt sich "additive" Lichtmischung, da die Basis Schwarz ist und durch anteiliges Hinzufügen der Grundfarben Rot, Grün und Blau jede weitere Farbe gemischt werden kann.<sup>12</sup>

4 Vgl. <http://www.bfs.de/de/uv/laser/grundlagen.html>, letzter Aufruf 8.11.2011

5 Mueller. J., 2006, S. 69

6 Erklärung: auch „Spikes“ (eng.) genannt

7 Mueller, J., 2006, S.140

8 Möllering/Slansky, *Handbuch der professionellen Videoaufnahme*, 1993, S. 193

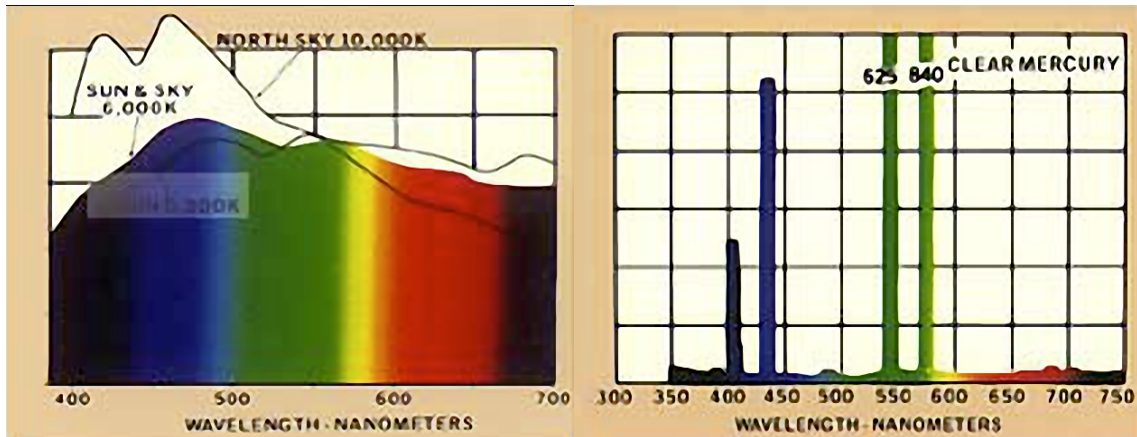
9 ebd.

10 ebd.

11 ebd.

12 ebd.

Sowohl das Auge als auch elektronische Bildsensoren und Filmmaterialien arbeiten bei der Wiedergabe von Farben integrierend, d.h. Sie "sehen" die Summe der Spektralan-teile als eine Farbe, können jedoch nicht die einzelnen Anteile des Spektrums wahr-nehmen.<sup>13</sup>



**Abbildung 2:** Spektren von natürlichem Tageslicht (l.) und einer Quecksilberdampflampe (r.). Gra-fik: Mehnert: Film-Licht-Farbe

## 2.2 Colour Rendering Index (CRI)

Um die Qualität der Farbwiedergabe verschiedener Lichtquellen mit einem Index defi-nieren zu können, ist der international anerkannte Colour Rendering Index (CRI) entwi-ckelt worden.<sup>14</sup> Zur Ermittlung des CRI, auch Ra-Wert genannt, werden 14 genormte Pastellfarben mit der jeweiligen Lichtquelle bestrahlt, anschließend werden die Abwei-chungen in Bezug zu einer Normlichtquelle ermittelt und mathematisch erfasst.<sup>15</sup> Der Durchschnittswert Ra wird aus den Werten einzelnen Werten R1-R14 jeder einzelner der 14 Testfarben errechnet.<sup>16</sup> Der höchste CRI von 100 definiert eine Lichtquelle mit perfekter Farbwiedergabe.<sup>17</sup> Als Normlichtquelle gilt ein schwarzer Körper, der folglich einen CRI von 100 besitzt.<sup>18</sup>

<sup>13</sup> Mueller J., 2006, S. 61

<sup>14</sup> Vgl. <http://www.ledshift.com/LED-CRI-Farbwiedergabeindex.html>, letzter Aufruf 9.11.2011

<sup>15</sup> ebd.

<sup>16</sup> ebd.

<sup>17</sup> Vgl. [http://www.osram.de/\\_global/pdf/Professional/Display\\_Optic/Display\\_Optic\\_NEU/Lichttechnische\\_Grundbegrif-fe.pdf](http://www.osram.de/_global/pdf/Professional/Display_Optic/Display_Optic_NEU/Lichttechnische_Grundbegrif-fe.pdf), letzter Aufruf 9.11.2011

<sup>18</sup> ebd.

R1	Altrosa	
R2	Senfgelb	
R3	Gelbgrün	
R4	Hellgrün	
R5	Türkisblau	
R6	Himmelblau	
R7	Asterviolett	
R8	Fliederviolett	
R9	Rot gesättigt	
R10	Gelb gesättigt	
R11	Grün gesättigt	
R12	Blau gesättigt	
R13	Rosa (Hautfarbe)	
R14	Blattgrün	

**Abbildung 3: Die Messfarben R1-R14 des „CRI“, Grafik: OSRAM**

Der CRI ist ein Anhaltspunkt bei der Beurteilung der Farbwiedergabe, besitzt jedoch viele Schwächen und liefert keine hundertprozentig schlüssigen Ergebnisse.<sup>19</sup> Durch die Komplexität unterschiedlicher Farbspektren von Lichtquellen ist es möglich, dass z.B. Leuchtmittel mit einem Unterschied im CRI von 5 Punkten subjektiv genauso gut erscheinen.<sup>20</sup>

Gerade beim Beurteilen der Lichtqualität von LED-Leuchten hat sich der CRI als wenig praktikabel erwiesen, worauf in den späteren Kapiteln genauer eingegangen wird.

Nichtsdestotrotz ist der CRI bislang der einzige international anerkannte Index für Farbwiedergabequalität von Lichtquellen und wird somit immer noch für grundlegende Beurteilungen (unter Vorbehalt) eingesetzt.<sup>21</sup>

<sup>19</sup> Vgl. [http://www.gelighting.com/na/business\\_lighting/education\\_resources/learn\\_about\\_light/color\\_rendering.htm](http://www.gelighting.com/na/business_lighting/education_resources/learn_about_light/color_rendering.htm), letzter Aufruf 9.11.2011

<sup>20</sup> ebd.

<sup>21</sup> ebd.

Die Farbwiedergabequalitäten verschiedener Leuchtmitteln werden mithilfe der Farbwiedergabestufen klassifiziert, die sich aus dem CRI ableiten.<sup>22</sup>

Bei farbkritischen Applikationen, wie Film- und Fernsehaufzeichnungen gilt als Richtwert ein CRI größer als 90, also Farbwiedergabestufe 1A.<sup>23</sup>

Farbwiedergabeeigenschaft	Farbwiedergabestufe	Farbwiedergabeindex $R_a$	Lampenbeispiele
Sehr gut	1 A	90	Halogenleuchtstofflampen, Lumilux de luxe Leuchtstofflampen HQI.../D
	1 B	80 - 89	Lumilux Leuchtstofflampen HQI.../NDL oder WDL
Gut	2 A	70 - 79	Standardleuchtstofflampen 10 und 25
	2 B	60 - 69	Standardleuchtstofflampen 30
genügend	3	40 - 59	HQL
ungenügend	4	> 39	Na-Hochdruck und Niederdruckentladungslampen

**Tabelle 2: Farbwiedergabeeigenschaften, Stufen und Klassen verschiedener Leuchten, Grafik: Der Verfasser**

<sup>22</sup> Vgl. [http://osram.de/osram\\_de/Tools\\_%26\\_Services/Training\\_%26\\_Wissen/Webbased\\_Training/ptp\\_de/PTP\\_Po-pup.jsp](http://osram.de/osram_de/Tools_%26_Services/Training_%26_Wissen/Webbased_Training/ptp_de/PTP_Po-pup.jsp) (Kapitel 5), letzter Aufruf 10.11.2011

<sup>23</sup> Vgl. Dedo Weigert Film – News 2011, S. 16 f.

## 2.3 Die Grundlagen der Farbwiedergabe bei Film und CCD-/CMOS-Sensoren

Bildsensoren in elektronischen Kameras können nur die Helligkeiten einfallenden Lichts erfassen.<sup>24</sup> Um Farben abbilden zu können, haben sich zwei grundlegende Verfahren in heutigen Kameras etabliert.

Bei Fernsehkameras werden heutzutage meist drei CCD oder CMOS-Sensoren für die drei Grundfarben eingesetzt.<sup>25</sup> Über einen Strahlenteiler (Prisma) im optischen System der Kamera wird das eintreffende Licht in die drei Wellenlängenbereiche der Grundfarben Rot, Grün und Blau aufgeteilt und auf die jeweiligen Sensoren gelenkt.<sup>26</sup>

**Additive Farbmischung:** Bei digitalen Film- und Fotokameras hingegen befindet sich in der Kamera meist ein einzelner CCD oder CMOS-Sensor, welcher aus einem feinen Schachbrettmuster, der sogenannten „Bayer-Matrix“<sup>27</sup>, mit den drei Grundfarben überzogen, das in der Regel aus 50% grünen, 25% roten und 25% blauen Anteilen besteht.<sup>28</sup> Dies berücksichtigt die Tatsache, dass das menschliche Auge evolutionsbedingt deutlich empfindlicher auf die Farbe Grün als auf die anderen beiden Grundfarben reagiert.<sup>29</sup> Mittels komplexer mathematischer Algorithmen werden aus dem so aufgenommenen Bild des einen Sensors wieder drei Bilder in den drei Grundfarben Rot, Grün und Blau errechnet und gespeichert oder ausgegeben.<sup>30</sup>

---

<sup>24</sup> Möllering, D., Slansky, P., 1993, S. 78

<sup>25</sup> ebd.

<sup>26</sup> ebd.

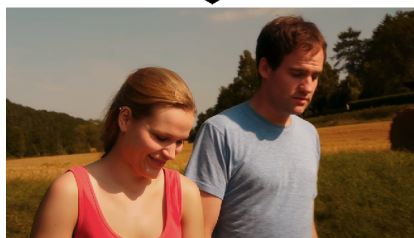
<sup>27</sup> Erklärung: Benannt nach dem Kodak-Ingenieur Bryce Bayer

<sup>28</sup> Vgl. <http://pluggedin.kodak.com/pluggedin/post/?id=2995926>, letzter Aufruf 10.11.2011

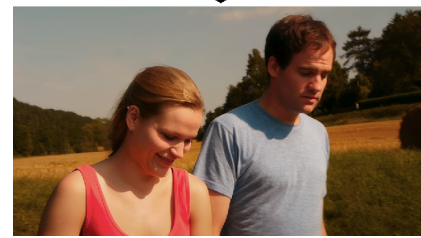
<sup>29</sup> ebd.

<sup>30</sup> ebd.





**Abbildung 4: Additive Farbmischung bei elektronischen Kameras, Grafik: Der Verfasser**



**Abbildung 5: Subtraktive Farbmischung bei Filmmaterial, Grafik: Der Verfasser**

**Subtraktive Farbmischung:** Filmmaterialien unterscheiden sich in Hinblick auf die Farbwiedergabe maßgeblich von den elektronischen Kameras, da sie auf subtraktiver Farbmischung basieren.<sup>31</sup> Bei Farbfilmmaterialien nehmen verschiedene übereinanderliegende Schichten im Film unterschiedliche Wellenlängen des Lichts für die Grundfarben Rot, Grün und Blau auf.<sup>32</sup> Allerdings entstehen beim Entwickeln des Films dabei die Farben Cyan, Magenta und Gelb.<sup>33</sup> Beim Durchleuchten des Filmpositivs werden dem Projektionslicht anteilig die Grundfarben Cyan, Magenta und Gelb abgezogen (subtrahiert), wodurch auf der Leinwand die ursprünglich aufgenommenen Farben des Bildes entstehen.<sup>34</sup> Dieses Verfahren basiert auf demselben Prinzip der Farbmischung,

<sup>31</sup> Mehnert, H., *Film – Licht – Farbe*, 1958, S. 52 f.

<sup>32</sup> ebd.

<sup>33</sup> ebd.

<sup>34</sup> ebd.

welches auch bei sämtlichen Druckverfahren üblich ist (z.B. Offset-Druck bei Büchern und Zeitschriften).<sup>35</sup>

Beide Verfahren haben als Gemeinsamkeit, dass sie innerhalb des Spektrums des sichtbaren Lichts jeweils ihre höchsten Empfindlichkeiten in den Bereichen der drei Grundfarben Rot, Grün und Blau haben. Von Filmmaterial zu Filmmaterial und von Aufnahmesensor zu Aufnahmesensor sind die genauen Empfindlichkeiten innerhalb des Farbspektrums unterschiedlich.<sup>36</sup>

Das bedeutet, dass Bildsensoren und Filmmaterialien das Farbspektrum des eintreffenden Lichts nicht vollständig gleichmäßig erfassen und gerade an den Grenzbereichen zwischen den drei Grundfarben Rot, Grün, Blau je nach Beschaffenheit sehr unterschiedlich reagieren können.<sup>37</sup> Dies spielt keine allzu große Rolle, so lange die Lichtquelle der abzubildenden Szenerie ein weitestgehend gleichmäßiges Farbspektrum aufweist, wie beispielsweise bei natürlichem Tageslicht oder Glühlicht.<sup>38</sup> Dies ändert sich jedoch, sobald die Lichtquelle des aufzunehmenden Bildes ein ungleichmäßiges Farbspektrum besitzt.<sup>39</sup> Bei Lichtquellen mit deutlichen Ungleichmäßigkeiten in der Spektralwiedergabe können verschiedene Kamerasensoren oder Filmmaterialien die Farben unter Umständen stark unterschiedlich wiedergeben.<sup>40</sup> In der Praxis entstehen dabei unberechenbare Resultate, die sich gerade beim Mischen verschiedener Lichtquellen selbst mit komplexen digitalen Farbkorrektursystemen schwer bis überhaupt nicht beheben lassen.<sup>41</sup>

Diese Tatsache spielt gerade bei der Arbeit mit derzeitigen LED-Leuchten eine wichtige Rolle, was in den späteren Kapiteln noch genauer erläutert wird.

---

<sup>35</sup> Mehnert, H., *Film – Licht – Farbe*, 1958, S. 52 f.

<sup>36</sup> ebd.

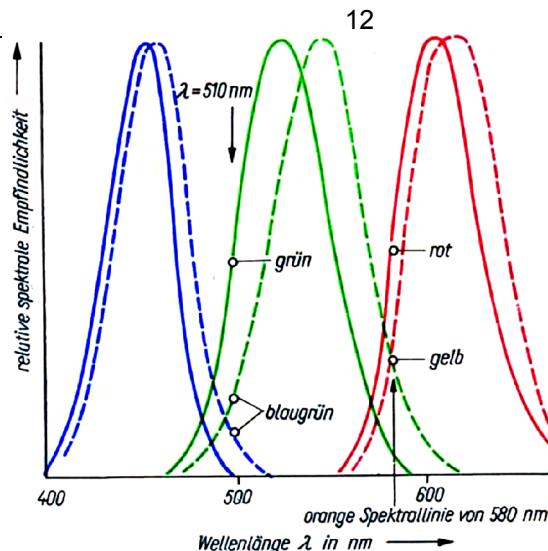
<sup>37</sup> Vgl. Dedo Weigert *Film – News 2011*, Seite 16 f.

<sup>38</sup> ebd.

<sup>39</sup> ebd.

<sup>40</sup> ebd.

<sup>41</sup> ebd.



**Abbildung 6: Spektralempfindlichkeiten bei verschiedenen Kamerasensoren (Sensor 1: durchgezogene Linie, Sensor 2: gestrichelte Linie), Grafik: Mehnert**

## 2.4 Licht- & Leuchtenarten im Film- und Fernsehbereich

### 2.4.1 Natürliches Licht/Sonnenlicht

In den Pionierjahren des Mediums "Film" wurde bei Dreharbeiten bis zum Jahr 1915 (lt. Peter Baxter) größtenteils natürliches Tageslicht verwendet.<sup>42</sup>

Es entstanden die sogenannten "Glasdachstudios". Die Abhängigkeit vom Tageslicht hatte bald zur Folge, dass sich die Filmindustrie aus Gründen der Effizienz bald im sonnigen Kalifornien anzusiedeln begann.<sup>43</sup> Durch die klimatisch günstige Lage konnten die vom Tageslicht vollständig abhängigen Drehtage deutlich verlängert werden, was gerade an den kurzen Wintertagen von großer Wichtigkeit war.<sup>44</sup> Hollywood als Zentrum der heutigen Filmindustrie ist auf diese Art und Weise entstanden.<sup>45</sup> Ab dem Anfang des 20. Jahrhunderts begann man, das natürliche Licht durch Diffusion und Reflektoren zu variieren. Mittels Diffusionsmaterialien in den Glasdächern der Studios wurde bald das "harte" Sonnenlicht in weiches Licht mit geringerer Kontrastbil-

<sup>42</sup> Blank, R., *Film&Licht*, 2009, S. 26

<sup>43</sup> ebd.

<sup>44</sup> ebd.

<sup>45</sup> ebd., S. 25

ung aufgebrochen.<sup>46</sup>

In dieser Zeit spielte das Licht im Film noch keine erkennbare dramaturgische Rolle; eine gleichmäßig helle Ausleuchtung war das Ziel der Filmemacher der Anfangszeit, Schatten galten prinzipiell als technischer Fehler.<sup>47</sup>

Das natürliche Sonnenlicht ist selbstverständlich auch heute bei Filmaufnahmen außen die dominierende Lichtquelle, welche jedoch aus ästhetischen und dramaturgischen Gründen in den meisten Fällen durch elektrische Tageslichtleuchten ergänzt wird.<sup>48</sup>

Natürliches Sonnenlicht zeichnet sich durch eine extrem gleichmäßige spektrale Farbwiedergabe aus und dient folglich mit einem CRI von 100 als absolute Referenz im Vergleich zu künstlichen Lichtquellen<sup>49</sup>. Für die Farbwiedergabe in Film und Fernsehen ist das Sonnenlicht eine ideale Quelle.

## 2.4.2 Festkörperlampen (Kunstlicht, z. B. Halogenglühlampen)

Festkörperlampen basieren größtenteils auf einem Wolframdraht als Leuchtmittel. Durch diesen wird ein Strom geschickt, der den Draht erhitzt, welcher dann elektromagnetische Strahlung aussendet.<sup>50</sup> Nur 10% der Strahlung ist dabei in den Wellenlängenbereichen des sichtbaren Lichts (380nm bis 750nm).<sup>51</sup> Der allergrößte Teil hingegen liegt im Infrarotbereich und wird vom Menschen als Wärme empfunden.<sup>52</sup> Ein Rest von 0,5%-1% der abgestrahlten Energie befindet sich im UV-Spektrum (<380nm).<sup>53</sup> Festkörperlampen sind von daher prinzipiell nicht sehr energieeffizient. Sie haben üblicherweise eine Lichtausbeute von 20-25lm/W.<sup>54</sup>

Der Wolframdraht bei Festkörperlampen ist in einem Glaskolben mit einem Gasge-

---

46 Blank, R., *Film&Licht*, 2009, S. 25

47 ebd., S. 27

48 Dunker, A., *Licht- und Schattengestaltung im Film*, 4. Auflage, 2004, S. 75

49 Vgl. [http://osram.de/osram\\_de/Tools\\_%26\\_Services/Training\\_%26\\_Wissen/Webbased\\_Training/ptp\\_de/PTP\\_Popup.jsp](http://osram.de/osram_de/Tools_%26_Services/Training_%26_Wissen/Webbased_Training/ptp_de/PTP_Popup.jsp) (Modul 3, Kapitel 5), letzter Aufruf 12.11.2011

50 Mueller, J., 2006, S. 137 f.

51 ebd.

52 ebd.

53 ebd.

54 ebd.

misch untergebracht.<sup>55</sup> Ein glühender Wolframdraht verdampft ständig Wolframpartikel, welche durch Oxidation den Glaskolben ohne diesem Gas schwärzen würden.<sup>56</sup>

Eine Weiterentwicklung der konventionellen Glühlampen sind die sogenannten Halogenglühlampen.<sup>57</sup> Durch die Zugabe von Halogenverbindungen (Brom, Jod, Fluor) in dem Gasgemisch um den Wolframdraht wird bei diesen Leuchtmitteln die Lichtausbeute und die Lebensdauer signifikant erhöht.<sup>58</sup> Dazu wird über die gesamte Lebensdauer eines Leuchtmittels dadurch ein gleichbleibender Lichtstrom und eine konstante Farbtemperatur erreicht.<sup>59</sup>

Möglich wird dies durch den sogenannten "Halogenkreisprozess". Dieser führt dazu, dass sich die verdampften Wolframpartikel immer wieder am Ende des Kreislaufs auf dem Glühfaden absetzen und so den Verschleiß des Leuchtmittels deutlich reduzieren.<sup>60</sup>

So gut wie alle in Filmleuchten verwendeten Festkörperleuchtmittel sind aus diesen Gründen Halogenleuchtmittel.<sup>61</sup>

Per Definition wird die Farbtemperatur der sogenannten "Kunstlichtleuchten" meist mit 3200° Kelvin angegeben.<sup>62</sup> Dies entspricht in der Praxis meist nicht der Realität, da viele Studiobetreiber ihre Studioleuchten mit leichter Unterspannung betreiben.<sup>63</sup>

Der Hintergrund dabei ist ein rein wirtschaftlicher: Halogenleuchtmittel verdoppeln bei Betrieb mit nur 5% Unterspannung ihre Lebensdauer.<sup>64</sup> Die Farbtemperatur von Festkörperlampen ist abhängig von der angelegten Betriebsspannung. Bei niedrigeren als der vorgesehenen Betriebsspannung sinkt der Kelvin-Wert des emittierten Lichts.<sup>65</sup>

Im Gegensatz zur Energieeffizienz und Lebensdauer von Festkörperleuchten liegt ihr großer Vorteil in der Farbwiedergabe. Mit einem CRI von 100 besitzen sie immer noch von allen künstlichen Lichtquellen die besten Farbeigenschaften und eignen sich somit

---

55 Mueller, J., 2006, S. 137 f.

56 ebd.

57 ebd.

58 ebd.

59 ebd.

60 Dunker, A., 2004, S. 31

61 ebd.

62 ebd.

63 ebd.

64 Mueller J., 2006, S. 137 f.

65 ebd.

hervorragend für eine natürliche Farbwiedergabe bei elektronischen Kameras und Filmkameras.<sup>66</sup>

### 2.4.3 Hochdruck-Halogenmetall dampflampe (HMI)

Die heutzutage bei Film und Fernsehen gängigen Hochdruck-Halogen-Metall dampflampen sind eine Weiterentwicklung der Quecksilberhochdrucklampen.<sup>67</sup>

Der Begriff "HMI" ist eingetragener Markenname der Firma Osram.<sup>68</sup> Da "HMI" sich als geläufige Bezeichnung für Hochdruckhalogenmetall dampflampen innerhalb der Film- und Fernsehbranche allgemein durchgesetzt hat, wird dieser Begriff dafür im Folgenden als Synonym verwendet.

HMI-Leuchten zählen zu den sogenannten Gasentladungslampen.<sup>69</sup> Die Lichtquelle ist bei diesen ein Gasgemisch unter Hochdruck, welches innerhalb eines Glaskolbens von zwei Elektroden zum Leuchten angeregt wird.<sup>70</sup> Das Gas besteht in der Regel dabei aus über 40 Elementen, meist aus Quecksilber, Natrium, Halogenverbindungen und den sogenannten seltenen Erden<sup>71</sup>.

Jedes dieser Elemente emittiert dabei einen anderen Teil des Farbspektrums.<sup>72</sup> Das Ziel der Hersteller ist es dabei, ein möglichst gleichmäßiges Spektrum zu erreichen.<sup>73</sup>

Logischerweise gilt die genaue Zusammensetzung des Gasgemisches bei den Herstellern der Leuchten als absolutes Geheimnis.<sup>74</sup>

HMI-Leuchten werden oft auch als "Tageslichtleuchten" bezeichnet, da sie mit dem Ziel konstruiert werden, mit einer Farbtemperatur von ungefähr 5600° Kelvin Sonnenlicht zu imitieren.<sup>75</sup>

---

66 Vgl. [http://osram.de/osram\\_de/Tools\\_%26\\_Services/Training\\_%26\\_Wissen/Webbased\\_Training/ptp\\_de/PTP\\_Po - pup.jsp](http://osram.de/osram_de/Tools_%26_Services/Training_%26_Wissen/Webbased_Training/ptp_de/PTP_Po - pup.jsp) (Modul 3, Kapitel 5), letzter Aufruf 12.11.2011

67 ebd.

68 Vgl. <http://www.trademarkia.com/osram-hmi-73264032.html>, letzter Aufruf 12.11.2011

69 Mueller, J., 2006, S. 140 f.

70 ebd.

71 Erklärung: Sondergruppe der Metalle

72 Mueller, J., 2006, S. 140 f.

73 ebd.

74 ebd.

75 ebd.

Sie benötigen, wie Gasentladungslampen allgemein, für den Betrieb ein Vorschaltgerät.<sup>76</sup> Dieses zündet den Leuchtbogen innerhalb des Leuchtmittels nach dem Einschalten mit einer Hochspannung von ca. 2.000V – 10.000V. Anschließend hält eine vom Vorschaltgerät geregelte Betriebsspannung von 70V bei niedrigen bis zu 235V bei hohen Leistungsstufen den Leuchtbogen aufrecht.<sup>77</sup>

HMI-Leuchten sind im Vergleich zu Festkörperlampen verhältnismäßig energieeffizient. Sie besitzen eine theoretische Lichtausbeute von 90lm/W, welche allerdings durch den Energieverbrauch des Vorschaltgerätes etwas geschmälert wird.<sup>78</sup> Mit ungefähr 70lm/W inklusive des Verbrauchs des Vorschaltgerätes sind sie dennoch deutlich effizienter als Halogen-Festkörperleuchten mit etwa 20lm/W.<sup>79</sup>

Die Farbwiedergabe von HMI-Leuchten ist mit einem CRI von über 90 sehr gut für farbkritische Film- und Videoanwendungen geeignet, auch wenn sie eine weniger gleichmäßige Spektralwiedergabe als Halogen-Festkörperleuchten besitzen.<sup>80</sup>

In der Praxis ist eine regelmäßige Überwachung der Leuchten notwendig, da die Brenner mit steigendem Alter ihre Farbtemperatur ändern.<sup>81</sup>

#### 2.4.4 Leuchtstofflampen ("Kinoflo")

Leuchtstofflampen sind als Lichtquelle im Alltag bereits seit den 70er Jahren verbreitet<sup>82</sup>, werden jedoch erst seit der Entwicklung der sogenannten "Kinoflo" im Jahr 1987 durch die deutlich verbesserte Farbwiedergabe und Flickerfreiheit im großen Stil für TV- und Filmaufnahmen genutzt.<sup>83</sup>

Leuchtstofflampen gehören, wie auch die HMI-Leuchten, zu den Gasentladungslampen. Im Gegensatz zu ihnen zählen sie jedoch zu den Niederdrucklampen, da in ihrem

---

76 Mueller J., 2006, S. 140 f.

77 ebd.

78 ebd.

79 ebd.

80 Vgl. [http://www.osram.com/\\_global/pdf/Professional/Display\\_Optic/Entertainment/HMI/hmi1200GSQe.pdf](http://www.osram.com/_global/pdf/Professional/Display_Optic/Entertainment/HMI/hmi1200GSQe.pdf), letzter Aufruf 14.11.2011

81 Mueller J., 2006, S. 147 f.

82 Vgl. [http://osram.de/osram\\_de/Tools\\_%26\\_Services/Training\\_%26\\_Wissen/Webbased\\_Training/ptp\\_de/PTP\\_Po-pup.jsp](http://osram.de/osram_de/Tools_%26_Services/Training_%26_Wissen/Webbased_Training/ptp_de/PTP_Po-pup.jsp) (Modul 6, Kapitel 1), letzter Aufruf 14.11.2011

83 Vgl. [http://livedesignonline.com/mag/lighting\\_fluorecents\\_filmmakers/](http://livedesignonline.com/mag/lighting_fluorecents_filmmakers/), letzter Aufruf 14.11.2011

Glaszylinder der Quecksilberdampf unter einem niedrigen Druck gefüllt ist.<sup>84</sup>

Diesem werden zur Verbesserung der Zündeigenschaften geringe Mengen von Argon und Neon hinzugefügt.<sup>85</sup> An den beiden Enden des Leuchtmittels befinden sich Elektroden, die aus einem Wolframdraht bestehen.<sup>86</sup> Im Betriebszustand der Leuchten fließt zwischen diesen ein Strom, der den Quecksilberdampf zum Ausstrahlen einer Strahlung (größtenteils im kurzwelligen UV-Bereich) anregt.<sup>87</sup> Eine Leuchtschicht auf der Innenwand des Glaszylinders verschiebt diese Strahlung in den Bereich des sichtbaren Lichts. Sie besteht aus diversen Metallsalzen, die jeweils einen Teil des Spektrums des Lichts ausmachen.<sup>88</sup>

Leuchtstofflampen benötigen ein Vorschaltgerät, welches nach dem Einschalten zunächst die Elektroden vorheizt und dann einen Induktionsspannungsstoß von einigen 100 bis 1000 Volt Spannung generiert. Dieser überwindet den Anfangswiderstand der Gasfüllung und zündet das Leuchtmittel.<sup>89</sup>

Die ersten magnetischen Vorschaltgeräte in den 70er und 80er Jahren führten zu einem Flimmern des Lichts von Leuchtstofflampen im Bereich von 100Hz.<sup>90</sup> Zusätzlich hatten frühe Leuchtstofflampen eine schlechte Wiedergabe des Farbspektrums.<sup>91</sup>

Dies machte sie zunächst trotz weiter Verbreitung im Alltag für Film- und Fernsehaufnahmen weitestgehend unbrauchbar.

Die Firma Kinoflo hat sich angesichts der praktischen Vorteile dieser Leuchten (hohe Lichtausbeute von bis zu 95lm/W, Praktikabilität durch leichte Leuchten, die ohne Diffusor ein weiches Licht abgeben) den Nachteilen angenommen.<sup>92</sup> Durch elektronische Vorschaltgeräte gelang es, das Flimmern der Leuchten mittels einer hohen Frequenz von 20-50kHz praktisch unsichtbar zu machen.<sup>93</sup> Um das Problem der Farbwiedergabe zu lösen, haben die Gründer Frieder Hochheim und Gary Swink lange mit Leuchtmittelherstellern gemeinsam an einer Mischung von Metallsalzen gearbeitet, um Leuchtmittel

---

84 Mueller J., 2006, S. 144 f.

85 ebd.

86 ebd.

87 ebd.

88 ebd.

89 ebd.

90 ebd.

91 ebd.

92 Vgl. <http://kinoflo.com/Kino%20Flo%20lamps/True%20Match/True%20Match.htm#kits>, letzter Aufruf 15.11.2011

93 ebd.



mit gleichmäßigerem Spektrum zu entwickeln.<sup>94</sup> In der Folge entstanden die sogenannten Kinoflo-Röhren, die in 3 Farbtemperaturen erhältlich sind: 3200°Kelvin für Kunstlicht, 5600°K für Tageslicht und einer dritten, öfters unbekannten Farbtemperatur: 2900°K. Diese nähert sich der oft in der Praxis üblichen Farbtemperatur von Halogenleuchten in Studios, die mit leichter Unterspannung betrieben werden.<sup>95</sup>

Die Farbwiedergabe der optimierten Leuchtstofflampen ist mit einem CRI von bis zu 95 absolut tauglich für farbkritische Anwendungen.<sup>96</sup>

Leuchtstofflampen wurden somit "filmreif" und hielten nach der Entwicklung der ersten Kinoflo im Jahr 1984 in extrem rasanten Tempo weltweit Einzug in Film und Fernsehen.<sup>97</sup>

Mittlerweile sind Vollspektrumleuchtstoffröhren auch als alltägliches Leuchtmittel weit verbreitet. An Arbeitsplätzen an denen sich Menschen regelmäßig aufhalten, sind Lampen mit einem  $R_a$ -Wert von mehr als 80 laut DIN-EN 12464-1 sogar aus gesundheitlichen Gründen gesetzlich vorgeschrieben.<sup>98</sup>

### 2.4.5 LED-Leuchten

Leuchtdioden (abgekürzt: LED für "Light Emitting Diode") arbeiten nach dem Prinzip der Elektrolumineszenz.<sup>99</sup> Dabei wird ein Halbleitermaterial durch elektrische Spannung zum Leuchten angeregt.<sup>100</sup> Wenn an diesen Halbleiter eine elektrische Spannung angelegt wird, erzeugen positive und negative elektrische Ladungen bei ihrer Neutralisation sichtbares Licht und Wärme. Obwohl dabei 20% Licht und 80% Wärme entstehen, sind LEDs mit ca. 70-80 lm/W verhältnismäßig energieeffiziente Leuchtmittel.<sup>101</sup>

Prinzipielle Vorteile sind des Weiteren, dass mit LEDs sehr kleine Bauformen realisierbar sind, zusätzlich sind sie sehr robust und unempfindlich gegen mechanische Er-

---

94 ebd.

95 Vgl. <http://kinoflo.com/Kino%20Flo%20lamps/True%20Match/True%20Match.htm#kits>, letzter Aufruf 15.11.2011

96 ebd.

97 Vgl. [http://livedesignonline.com/mag/lighting\\_fluorescents\\_filmmakers/](http://livedesignonline.com/mag/lighting_fluorescents_filmmakers/), letzter Aufruf 15.11.2011

98 Vgl. [http://www2.philips.de/licht/onlineacademy/samples/el\\_leuchtstoffl.pdf](http://www2.philips.de/licht/onlineacademy/samples/el_leuchtstoffl.pdf), letzter Aufruf 15.11.2011

99 Mueller, J., 2006, S. 150

100 ebd.

101 Vgl. [http://www2.philips.de/licht/onlineacademy/samples/el\\_led.pdf](http://www2.philips.de/licht/onlineacademy/samples/el_led.pdf), letzter Aufruf 17.11.2011

schütterungen.<sup>102</sup> Leuchtdioden lassen sich, ganz im Gegensatz zu Leuchtstoffröhren und Gasentladungslampen, mit sehr geringer Versorgungsspannung betreiben.<sup>103</sup>

Die Lebensdauer aktueller High-Power-LEDs wird von Herstellern mit beeindruckenden 50.000 Stunden angegeben und liegt somit weit über den in den vorhergehenden Kapiteln behandelten Leuchtmitteln.<sup>104</sup>

Große Hersteller von LEDs sind unter anderem Nichia, Osram Opto, Lumileds/Philips, Seoul, Cree und Samsung.<sup>105</sup>

---

<sup>102</sup> Mueller, J., 2006, S. 150

<sup>103</sup> ebd.

<sup>104</sup> Vgl. [http://www2.philips.de/licht/onlineacademy/samples/el\\_led.pdf](http://www2.philips.de/licht/onlineacademy/samples/el_led.pdf), letzter Aufruf 17.11.2011

<sup>105</sup> Vgl. [http://www.leuchtdioden.org/index.php/LED\\_Hersteller](http://www.leuchtdioden.org/index.php/LED_Hersteller), letzter Aufruf 17.11.2011

## 3 LED-Leuchten im Film- und Fernsehbereich

### 3.1 Entwicklung der LED-Technologie

#### 3.1.1 Monochromatische/farbige LEDs

Monochromatische LEDs erzeugen Licht einer Wellenlänge, also einfarbiges Licht, welches von den im Chip eingesetzten Substanzen abhängt (z.B. Indium, Gallium, Aluminium und Phosphor bei LEDs im Farbbereich Grün bis Rot).<sup>106</sup>

Ab Mitte der 70er Jahre wurden LEDs in den weiteren Farben Gelb, Orange und Grün erhältlich.<sup>107</sup>

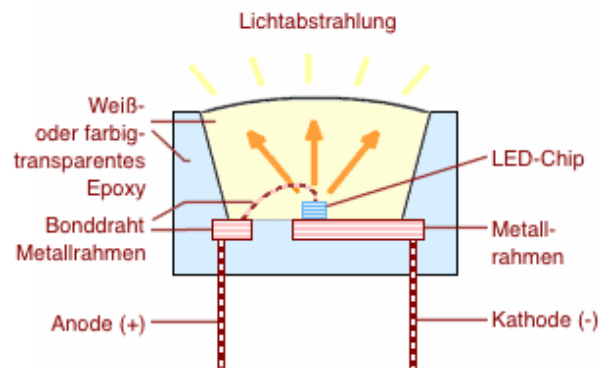
Erst in den 90er Jahren kamen LEDs mit kurzweilliger Lichtstrahlung auf den Markt. Dies ermöglichte die Farbe blau, später auch UV-Licht. Diese Erfindung machte anschließend die Weißlicht-LEDs erst möglich.<sup>108</sup>

---

<sup>106</sup> Vgl. [http://osram.de/osram\\_de/Tools\\_%26\\_Services/Training\\_%26\\_Wissen/Webbased\\_Training/ptp\\_de/PTP\\_Po-pup.jsp](http://osram.de/osram_de/Tools_%26_Services/Training_%26_Wissen/Webbased_Training/ptp_de/PTP_Po-pup.jsp) (Modul 9), letzter Aufruf 18.11.2011

<sup>107</sup> ebd.

<sup>108</sup> ebd.



**Abbildung 7: Grundlegender Aufbau einer LED, Grafik: OSRAM**

### 3.1.2 Weißlicht-LEDs

Um nun mit (an sich monochromatischen) Leuchtdioden weißes Licht zu erzeugen, gibt es 2 gängige Verfahren:

1. RGB/RGBA-LED: Mittels additiver Farbmischung wird bei dem sogenannten "RGB-Prinzip" das Licht von roten, grünen und blauen LEDs zu weißem Licht vermischt. Oft werden dabei noch eine oder mehrere weitere Farben eingesetzt, um die Farbcharakteristik zu verbessern (Zum Beispiel Bernsteinfarben/Amber beim RGBA-Verfahren).<sup>109</sup>

Der Vorteil liegt dabei in der Möglichkeit, unterschiedlichste Farben aus diesen Grundfarben zu mischen.<sup>110</sup> Diese können durch die intensiven Farben der monochromatischen Grundfarbleuchten extrem starke Sättigungen erreichen, die weit über denen eines Plasma- oder LCD-TV-Gerätes liegen.<sup>111</sup> So wird diese Technik z.B. bei Großbildleinwänden auf LED-Basis genutzt.

Jedoch wird bei der RGB und RGBA-Technik zur Erzeugung von weißem Licht nur eine unzureichende Farbwiedergabe erreicht.<sup>112</sup> Dazu ist der Weißpunkt ohne zusätzliche technische Hilfsmittel nicht über längere Zeit stabil einstellbar, da die 3, bzw. 4 LED-Typen nicht gleich schnell altern und unterschiedlich in ih-

<sup>109</sup> Vgl. [http://osram.de/osram\\_de/Tools\\_%26\\_Services/Training\\_%26\\_Wissen/Webbased\\_Training/ptp\\_de/PTP\\_Po - pup.jsp](http://osram.de/osram_de/Tools_%26_Services/Training_%26_Wissen/Webbased_Training/ptp_de/PTP_Po - pup.jsp) (Modul 9), letzter Aufruf 18.11.2011

<sup>110</sup> ebd.

<sup>111</sup> ebd.

<sup>112</sup> ebd.

rer Leuchtstärke auf Temperaturschwankungen reagieren.<sup>113</sup>

2. Lumineszenzkonversion: Bei weißen LEDs mit Einzel-Chip wird eine Technologie eingesetzt, die ähnlich der in Leuchtstofflampen verwendeten funktioniert.<sup>114</sup> Dabei wird Licht aus blauen LEDs durch eine auf dem Chip aufgebrachte Phosphorschicht gegeben.<sup>115</sup> Die Phosphorschicht wird durch das blaue Licht zum Leuchten angeregt und emittiert dabei gelbes Licht.<sup>116</sup> Das blaue Licht des LED-Chips und das gelbe Licht des Phosphors ergeben zusammen weißes Licht.<sup>117</sup> Die Farbtemperatur der Weißlicht-LED hängt dabei von der Stärke der aufgetragenen Phosphorschicht ab.<sup>118</sup> Da die Stärke dieser in der Produktion kaum einheitlich gehalten werden kann, ist das gängige Verfahren zum Sicherstellen einheitlicher Farbtemperaturen das sogenannte Binning.<sup>119</sup> Dabei werden die produzierten LEDs automatisch auf ihre Farbtemperatur hin untersucht und in verschiedenen Farbklassen eingeteilt.<sup>120</sup> Je kleiner die Toleranzen dieser Bins gesetzt werden, desto einheitlicher sind die Farbwiedergabeeigenschaften der eingeteilten LEDs.<sup>121</sup> Typische Weißlicht-LEDs erreichen bei ihrer Farbwiedergabe einen CRI von 70-80.<sup>122</sup>

### 3.1.3 Leistungssteigerung

LEDs können erst seit kurzer Zeit in Filmleuchten benutzt werden. Dies ist neben der Farbwiedergabe vor allem den großen Fortschritten im Bereich der Leistungssteigerung bei diesen Leuchtmitteln zuzuschreiben.<sup>123</sup>

---

<sup>113</sup> Vgl. [http://osram.de/osram\\_de/Tools\\_%26\\_Services/Training\\_%26\\_Wissen/Webbased\\_Training/ptp\\_de/PTP\\_Po - pup.jsp](http://osram.de/osram_de/Tools_%26_Services/Training_%26_Wissen/Webbased_Training/ptp_de/PTP_Po - pup.jsp) (Modul 9), letzter Aufruf 18.11.2011

<sup>114</sup> Vgl. <http://www.led-info.de/grundlagen/leuchtdioden/weisslicht-led.html>, letzter Aufruf 19.11.2011

<sup>115</sup> ebd.

<sup>116</sup> ebd.

<sup>117</sup> ebd.

<sup>118</sup> ebd.

<sup>119</sup> Melzer, E., *LED-Führungslicht: kein einfacher Entwicklungsweg*, FKT 10/2010, S. 479

<sup>120</sup> ebd.

<sup>121</sup> ebd.

<sup>122</sup> Vgl. [http://osram.de/osram\\_de/Tools\\_%26\\_Services/Training\\_%26\\_Wissen/Webbased\\_Training/ptp\\_de/PTP\\_Po - pup.jsp](http://osram.de/osram_de/Tools_%26_Services/Training_%26_Wissen/Webbased_Training/ptp_de/PTP_Po - pup.jsp) (Modul 9), letzter Aufruf 18.11.2011

<sup>123</sup> ebd.

Zwischen 1970 und 1995 wurde die Leistung roter LEDs um den Faktor 45 gesteigert. Von 1995 bis 2003 konnte die durchschnittliche Leistung von LEDs weiterhin um den Faktor 16 gesteigert werden.<sup>124</sup>

Die ersten LEDs waren aufgrund ihrer geringen Lichtausbeute hauptsächlich in Anzeigeelementen zu finden und ersetzten dort kleine Glüh- oder Glühlampen.<sup>125</sup> Ein weiteres recht frühes Einsatzgebiet fand sich mit Infrarot-LEDs, die auch heute noch in jeder Fernsteuerung zu finden sind.<sup>126</sup> Durch höhere mögliche Leistungen konnten im Laufe der Zeit LEDs zunehmend in der Beleuchtungstechnik eingesetzt werden.<sup>127</sup>

Heutzutage finden sie sich als Ersatz von konventionellen Leuchtmitteln in der Straßenbeleuchtung, in Ampeln, Autoscheinwerfern, als Filmlichter und in vielen weiteren Einsatzgebieten wieder.<sup>128</sup>

## 3.2 LED-Bauformen

- T-Type: Diese Bauform ist die älteste und gängigste Bauform von LEDs.<sup>129</sup> Der Chip wird dabei mit Anschlussdrähten versehen und in einem Kunststoffgehäuse eingeschmolzen.<sup>130</sup> Dieses dient dabei auch als einfaches optisches System; das Licht wird in einem verhältnismäßig engen Austrittswinkel ausgegeben.<sup>131</sup> Die Ableitung der Wärme findet dabei über die Beine der LED statt.<sup>132</sup> Da das geschlossene Gehäuse die erzeugte Wärme ansonsten sehr schlecht ableitet, sind mit T-Type-LEDs nur kleinere Leistungsklassen realisierbar.<sup>133</sup>

---

124 Vgl. [http://osram.de/osram\\_de/Tools\\_%26\\_Services/Training\\_%26\\_Wissen/Webbased\\_Training/ptp\\_de/PTP\\_Po - pup.jsp](http://osram.de/osram_de/Tools_%26_Services/Training_%26_Wissen/Webbased_Training/ptp_de/PTP_Po - pup.jsp) (Modul 9), letzter Aufruf 18.11.2011

125 Vgl. <http://de.wikipedia.org/wiki/Led>, letzter Aufruf 20.11.2011

126 ebd.

127 ebd.

128 ebd.

129 Mueller, J., 2006, S. 152 f.

130 ebd.

131 ebd.

132 ebd.

133 ebd.



**Abbildung 8: T-Type-LED,**  
**Grafik: Wikipedia**

- SMD-Type (engl. Surface Mount Device): Bei dieser platzsparenden Technik werden die Licht erzeugenden Halbleiterbauteile direkt mit der Leiterplatte verklebt und verlötet.<sup>134</sup> Da die Wärme bei SMD-Type-LEDs nur beschränkt abgegeben werden kann, werden in dieser Bauform ebenso nur kleinere Leistungsklassen gefertigt.<sup>135</sup>



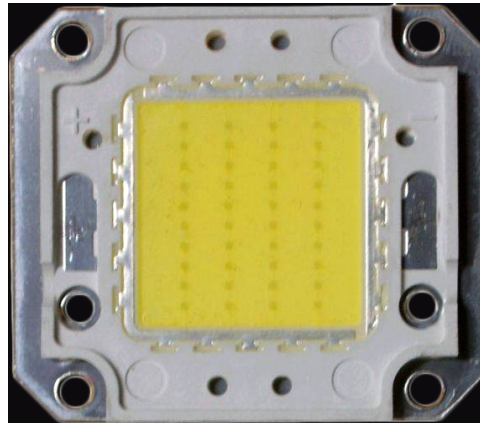
**Abbildung 9: SMD-Type-LED, Grafik: Wikipedia**

---

<sup>134</sup> Mueller, J., 2006, S. 152 f.

<sup>135</sup> ebd.

- COB-Type (engl. Chip on Board): Bei dieser Bauart ist der Dioden-Chip direkt auf einem Leiterplattenträger aufgebracht, der auch als Kühlkörper funktioniert.<sup>136</sup> Die Wärme wird über diesen vom Halbleiterkristall nach außen geleitet, wodurch sich mit COB-Type-LEDs für hohe Leistungsklassen eignen.<sup>137</sup>



**Abbildung 10: COB-Type-LED, Grafik: TradeAgea**

<sup>136</sup> Mueller, J., 2006, S. 152 f.

<sup>137</sup> ebd.



### 3.3 LED-Film-/Fernsehleuchten

LEDs ohne spezielle Ansprüche an die Farbqualität oder Lichtqualität finden sich gängigerweise oft im Zusammenspiel mit klassischen Scheinwerfern in TV-Studios als Effektlichter wieder.<sup>138</sup> Innerhalb der Studiodekoration werden sie beispielsweise oft als sogenannte "Dekorationslichter" eingesetzt.<sup>139</sup>

Seit Erfindung der Litepanels werden LED-Leuchten jedoch in zunehmendem Maße in den Bereichen eingesetzt, die zuvor aufgrund ihrer Farb- und Lichtqualität der LED-Technik verwehrt geblieben sind.<sup>140</sup>

Im Laufe der Jahre seit 2004 haben sich LED-Film-/Fernsehleuchten herausgeprägt, die sich grob in zwei grundlegende Kategorien einteilen lassen:

#### 3.3.1 LED-Flächenleuchten

Bereits die ersten Litepanels basierten auf dieser Technologie.<sup>141</sup> Er basiert in den meisten Fällen auf einer hohen Anzahl von T-Type-LEDs (z.B. Litepanels 1x1), die flächig nebeneinander angeordnet sind.<sup>142</sup>

Es gibt dabei kleinere Ausführungen, die meist als Kamerakopflichter im News-Bereich Einzug gehalten haben und größere Ausführungen, die mobil als Akkuleuchten auf Stativen fungieren oder montiert im Studio über transformierten Netzstrom betrieben werden können.<sup>143</sup>

Sie erzeugen weiches Licht, welches prinzipiell "portraitfreundlich" ist und für geringe Kontraste sorgt.<sup>144</sup> Allerdings ist das Vorbringen eines Diffusionsmaterial auch bei diesen Leuchten in vielen Fällen sinnvoll, da sie prinzipbedingt durch die vielen kleinen Lichtquellen in Form der LEDs auf geringere Distanzen unschöne Mehrfachschatten

---

<sup>138</sup> Melzer, E., *LED-Führungslicht: kein einfacher Entwicklungsweg*, FKT 10/2010, S. 477 f.

<sup>139</sup> ebd.

<sup>140</sup> Vgl. <http://www.litepanels.com/>, letzter Aufruf 22.11.2011

<sup>141</sup> ebd.

<sup>142</sup> ebd.

<sup>143</sup> Vgl. <http://www.bhphotovideo.com/c/buy/LED-Light-Sources/ci/12248/N/4294551085>, letzter Aufruf 22.11.2011

<sup>144</sup> ebd.

werfen. Besonders kritisch ist dies bei Leuchten, die mit verschiedenfarbigen LEDs mittels RGBA- oder ähnlichen Farbmischverfahren arbeiten; bei diesen entstehen verschiedenfarbige Mehrfachschatten, die besonders auffällig sind.<sup>145</sup>

So gut wie alle Leuchten bringen einen eingebauten Dimmer mit, mit welchem sich die Intensität des Lichts stufenlos bis auf ein Minimum ohne nennenswerte Verschiebung der Farbtemperatur regeln lässt.<sup>146</sup> Bei einigen Leuchten lässt sich dies für den Studiobetrieb mittels DMX ferngesteuert kontrollieren (z.B. Tecpro Felloni<sup>147</sup>).

Neben den klassischen Leuchten, bei welchen alle LEDs parallel im 90°-Winkel nach vorne abstrahlen, gibt es Abwandlungen:

- Low-Profile-Leuchten: die LEDs strahlen vom Panel in einem 45°-Winkel ab. Dadurch kann die Leuchte flach unter der Decke angebracht werden und strahlt dennoch ihr Licht nach vorne hin ab. Auf diese Art kann bei geringen Deckenhöhen ein Protagonist dennoch frontal beleuchtet werden.<sup>148</sup>
- Flood-/Spot-Varianten: Durch unterschiedliche Ausrichtung der LEDs werden verschiedene Abstrahlwinkel der Panele ermöglicht, z. B. 30° oder 50°-Varianten. Bei der Litepanel BiFocus-Leuchte kann sogar die Anordnung der LEDs mit einem Einstellknopf variiert werden, wodurch eine stufenlose Einstellung des Abstrahlwinkels zwischen Spot- und Floodstellung, vom Effekt ähnlich einem Stufenlinsenscheinwerfer, möglich wird.<sup>149</sup>

---

145 Melzer, E., *LED-Führungslight: kein einfacher Entwicklungsweg*, FKT 10/2010, S. 477

146 ebd.

147 Vgl. <http://www.dedoweigertfilm.de/dedo/default.php?la=0&pg=000004170307&id=Felloni&section=0>, letzter Aufruf 22.11.2011

148 Teltec: Katalog 2012, S.104

149 Vgl. [http://www.litepanels.com/language/pages/onebyone\\_bifocus.php](http://www.litepanels.com/language/pages/onebyone_bifocus.php), letzter Aufruf 22.11.2011



*Abbildung 11: Litepanels 1x1-Panel, bestehend aus diversen T-Type-LEDs, Grafik: Litepanels*

### 3.3.2 LED-Scheinwerfer

Eine technische Entwicklung jüngerer Zeit (ca. seit 2010) innerhalb der LED-Filmleuchtentechnologie sind Scheinwerfer mit annähernd punktförmiger Lichtquelle, die von der grundlegenden Bauform typischen Fresnel-Scheinwerfern entsprechen.<sup>150</sup>

Im Gegensatz zu den Flächenleuchten geben diese Scheinwerfer ohne weitere Diffusionsmaterialien ein verhältnismäßig hartes Licht mit starken Kontrasten und klar definierter, einfacher Schattenbildung aus.<sup>151</sup> Dabei entstehen auch ohne Diffusion keine Mehrfachschatten. Fresnel-Systeme werden in Studios und bei Außenübertragungen/Außendrehen sehr gerne genutzt, da sie sehr kontrollierbare Lichtquellen sind, die ein weiches Lichtfeld, weitestgehend ohne Helligkeits- und Farbsprünge, erzeugen.<sup>153</sup> Das weiche Auslaufen des Lichtkegels sorgt dafür, dass man problemlos die Lichtfelder verschiedener Scheinwerfer überlagern kann.<sup>154</sup> Durch den großen Fokussierbereich von ca. 10° bis 60° sind sie sehr flexibel.<sup>155</sup>

Das technische Verfahren hinter LED-Fresnel-Systemen ist sehr kompliziert, weshalb lange Zeit die Konstruktion eines "echten", studiotauglichen Fresnellinsenscheinwer-

---

<sup>150</sup> Melzer, E., *LED-Führungslicht: kein einfacher Entwicklungsweg*, FKT 10/2010, S. 478 f.

<sup>151</sup> ebd.

<sup>152</sup> ebd.

<sup>153</sup> ebd.

<sup>154</sup> ebd.

<sup>155</sup> ebd.

fers mittels LED-Technik als "heiliger Gral" der Lampenhersteller angesehen worden ist.<sup>156</sup>

Bei dem gängigsten Verfahren der Lichterzeugung in Fresnel-LED-Leuchten wird eine sogenannte "Light-Engine" mit einer geringen Größe von ca. 15\*15mm hinter einer Fresnellinse eingesetzt.<sup>157</sup> Die Light Engine besteht aus einzelnen, sehr dicht angeordneten LEDs, bzw. LED-Chips, deren Licht durch eine optische Platte im Strahlengang vor der Fresnellinse miteinander vermischt wird.<sup>158</sup> Problematisch dabei gestaltet sich für die Ingenieure das Lösen der Wärmeabführung innerhalb der Leuchte: Durch diese Bauart erzeugen die dicht angeordneten LEDs sehr viel Wärme auf kleinem Raum, die nach hinten über Heatpipes (also Wärmerohre) in ein Kühlelement abgeleitet werden muss.<sup>159</sup>

Auch von diesem Leuchtentyp gibt es kleine Akkuvarianten und größere, netzstrom-betriebene Studiovarianten.

Kamerakopflichter sind z.B. Das Sola ENG von Litepanels<sup>160</sup> oder das LEDZilla von Dedolight.<sup>161</sup> Letzteres ist keine Fresnel-Leuchte im eigentlichen Sinne, da sie über ein doppelt-asphärisches Linsensystem verfügt – ähnelt jedoch in Bauform und Lichtdistribution grundsätzlich den Fresnel-Systemen.<sup>162</sup>

Leistungsstärkere Modelle sind bislang noch recht selten – Litepanels bietet als einer der ersten Hersteller mit dem Sola 4 und dem Sola 6 solche Modelle mit Tageslicht-Farbtemperatur an.<sup>163</sup> Das Sola 6 soll dabei laut Herstellerangaben mit der Lichtleistung eines 650W-Kunstlicht-Stufenlinsenscheinwerfers vergleichbar sein bei einer Aufnahme von maximal 100W.<sup>164</sup>

Zum Thema "Farbwiedergabe" finden sich in den offiziellen Broschüren keine weiteren Angaben. Laut Screen, Light and Grip (ein amerikanischer Filmtechnikverleiher) soll auf Nachfrage beim Hersteller ein CRI-Wert von etwa 80 genannt worden sein, was

---

156 Melzer, E., *LED-Führungslight: kein einfacher Entwicklungsweg*, FKT 10/2010, S. 478 f.

157 ebd.

158 ebd.

159 ebd.

160 Vgl. [http://www.litepanels.com/language/pages/sola\\_six.php](http://www.litepanels.com/language/pages/sola_six.php), letzter Aufruf 23.11.2011

161 Vgl. [http://www.dedoweigertfilm.de/dedo/default.php?la=0&pg=000004170100&id=DL\\_Ledzilla&section=0](http://www.dedoweigertfilm.de/dedo/default.php?la=0&pg=000004170100&id=DL_Ledzilla&section=0), letzter Aufruf 23.11.2011

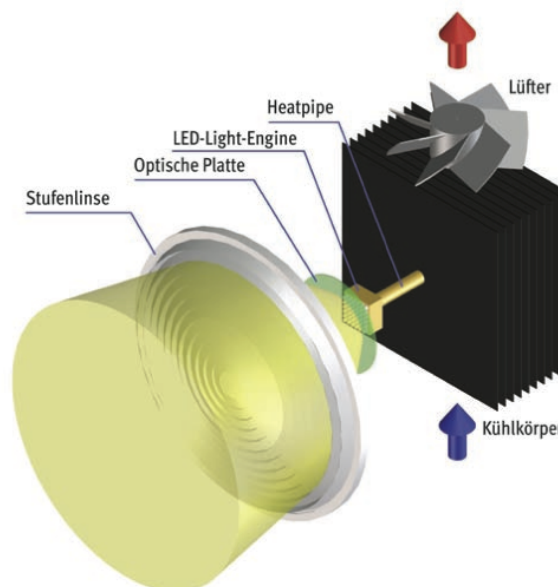
162 ebd.

163 Vgl. [http://www.litepanels.com/language/pages/sola\\_six.php](http://www.litepanels.com/language/pages/sola_six.php), letzter Aufruf 23.11.2011

164 ebd.

von der Farbwiedergabequalität recht weit von klassischen Halogenscheinwerfern entfernt wäre.<sup>165</sup>

In größeren Klassen (vergleichbar mit 650W-2000W Kunstlicht) gibt es beim heutigen Stand noch keine Fresnelleuchten, die in Serie produziert werden.<sup>166</sup> Von vielen erwartete Leuchten dieser Klasse wurden von der Firma ARRI mit der L-Serie bei der NAB 2011 in Las Vegas soeben vorgestellt.<sup>167</sup> Sie werden allerdings auf telefonische Anfrage bei ARRI hin erst im ersten Quartal 2012 in Serie produziert werden.<sup>168</sup> Sie bieten laut Herstellerangaben eine 200-fache Lebensdauer der Leuchtmittel und 75% Energieersparnis gegenüber vergleichbaren Halogenscheinwerfern.<sup>169</sup>



**Abbildung 12: Funktionsweise einer typischen LED-Stufenleuchte mit Fresnellinse, Grafik: FKT**

Ausgeliefert werden Versionen mit Kunstlicht-, Tageslichttemperatur, sowie eine kontrollierbaren Variante.<sup>170</sup> Bei dieser können Werte von 2700°K-10000°K gewählt werden, zusätzlich gibt es eine Grün-Magenta-Einstellung.<sup>171</sup> Darüber hinaus lassen sich über vollständig einstellbare RGB-Mischung sämtliche mögliche (Effekt-)Farben ein-

<sup>165</sup> Vgl. [http://www.screenlightandgrip.com/html/emailnewsletter\\_generators.html#anchorLED Fresnel](http://www.screenlightandgrip.com/html/emailnewsletter_generators.html#anchorLED%20Fresnel), letzter Aufruf 24.11.2011

<sup>166</sup> Information auf telefonische Nachfrage beim Hersteller ARRI, 26.11.2011

<sup>167</sup> Vgl. <http://www.arri.de/l-series/>, letzter Aufruf 23.11.2011

<sup>168</sup> Information auf telefonische Nachfrage beim Hersteller ARRI, 26.11.2011

<sup>169</sup> Vgl. <http://www.arri.de/l-series/>, letzter Aufruf 23.11.2011

<sup>170</sup> ebd.

<sup>171</sup> ebd.

stellen.<sup>172</sup>

Der kritische Punkt der Farbwiedergabequalität soll laut Angaben von Hersteller ARRI mit einem CRI von über 90 auf einem sehr hohen Niveau liegen.<sup>173</sup> Es ließen sich allerdings zu diesem Zeitpunkt nach intensiver Recherche keine unabhängigen Studien finden, welche diese Werte bestätigen.

Auf einem Seminar der Firma Dedo Weigert Film im November 2011 wurde ein Vorserienmodell einer ähnlichen LED-Fresnelleuchte mit hoher Leistung vorgeführt, dazu wurden Prototypen der präzise fokussierbaren Dedolights mit LED-Technologie präsentiert. Es ist stark anzunehmen, dass in naher Zukunft viele verschiedene Modelle dieser Art von diversen Herstellern auf den Markt kommen werden.

---

<sup>172</sup> Vgl. <http://www.arri.de/l-series/>, letzter Aufruf 23.11.2011

<sup>173</sup> ebd.

## 4 LED-Film-/Fernsehlampen in der Praxis

### 4.1 grundlegende Problempunkte

#### 4.1.1 Farbwiedergabe

Neben vielen Problempunkten bei LED-Scheinwerfen, die eher bauartbedingt oder modellbedingt sind (wie z.B. Mehrfachschattenbildung bei Flächenleuchten<sup>174</sup>) und grundlegenden Schwierigkeiten für die Ingenieure der Lampen (z.B. Der Wärmeabführung<sup>175</sup>), war bei den Recherchen für diese Arbeit immer wieder von einem grundlegenden Problem die Rede, welches an vielen Stellen angesprochen worden ist: der Farbwiedergabe.

Filmmaterialien und elektronische CCD-/CMOS-Sensoren nehmen nur gewisse Anteile des sichtbaren Spektrums des sichtbaren Lichts und haben je nach Filmmaterial oder Sensortyp unterschiedliche Bereiche innerhalb des Farbspektrums, mit denen sie unterschiedlich stark die drei Grundfarben Rot, Grün und Blau aufnehmen und daraus die wiedergegebenen Farben mischen.<sup>176</sup>

Bei Lichtquellen mit (annähernd) gleichmäßigem und durchgehendem Farbspektrum, wie z.B. Glühlicht oder natürlichem Tageslicht, ist die Reproduktion der Farben kalkulierbar: Sie hängt vom verwendeten Filmmaterial oder Bildsensor ab, ist jedoch beim Einsatz verschiedener Lampen dieser Art konstant und einschätzbar.<sup>177</sup>

LEDs sind jedoch, wie beispielsweise auch Leuchtstofflampen, Lichtquellen mit ungleichmäßigem Lichtspektrum.<sup>178</sup> Sie besitzen innerhalb des Farbspektrums stärkere Farbanteile, andere hingegen sind wenig oder fast gar nicht vertreten.<sup>179</sup> Bei typischen weißen LEDs gibt es in diesem Beispiel ein großes Ungleichgewicht: Violett bis fast 450nm Wellenlänge ist fast überhaupt nicht vertreten, im Bereich Cyanblau bei ca.

---

<sup>174</sup> Melzer, E., *LED-Führungslicht: kein einfacher Entwicklungsweg*, FKT 10/2010, S. 478f.

<sup>175</sup> ebd.

<sup>176</sup> Mehnert, H., 1958, S. 52 f.

<sup>177</sup> ebd.

<sup>178</sup> Vgl. [http://www.oscars.org/video/watch/stc\\_ssl\\_pp\\_erland5.html](http://www.oscars.org/video/watch/stc_ssl_pp_erland5.html), letzter Aufruf 25.11.2011

<sup>179</sup> ebd.

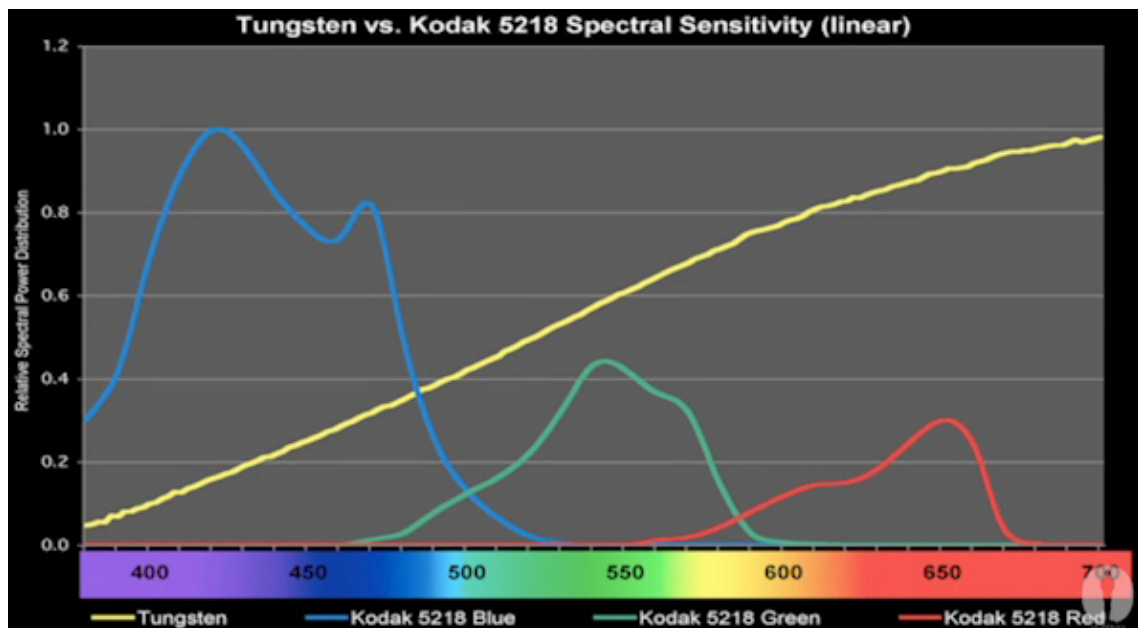


Abbildung 13: Spektralkurven von dem Filmmaterial Kodak 5218 und Glühlicht, Grafik: AMPAS

500nm gibt es einen Einbruch. Am oberen Ende des Lichtspektrums fällt das LED-Licht ab etwa 625nm stark ab – tiefe Rottöne bei ca. 700nm sind kaum noch vertreten.<sup>180</sup> Dagegen gibt es überdurchschnittlich hohe Spitzen bei 450nm (Tiefblau) und bei 600nm (Orange).<sup>181</sup> Dies könnte an dem Aufbau einer typischen Weißlicht-LED liegen, die zunächst tiefblaues Licht erzeugt, welches mittels einer aufgetragenen Phosphorschicht teilweise in gelboranges Licht konvertiert wird und so für das Auge weißes Licht erzeugt.

Das Licht einer solchen LED, welches auf einer weißen Fläche, die relativ gleichmäßig alle Wellenlängen des Lichts abstrahlt, kann durchaus ein "sauberes" weißes Licht mit einer bestimmten Kelvinzahl (ca. 3200°K Kunstlicht) erzeugen. Wenn es jedoch auf verschiedene Farben trifft, werden diese anders wiedergegeben als mit einer Kunstlichtlampe: Die Spektralkurven der beiden unterschiedlichen Lichtquellen decken sich unterschiedlich mit den Resorptionskurven der Farben und liefern folglich in der Summe andere Resultate.<sup>182</sup>

Bei Lichtquellen mit diskontinuierlichem Spektrum lassen sich diese Unterschiede nur unzureichend oder gar nicht über den Einsatz von Farbfilterfolien ausgleichen.<sup>183</sup>

Bei einer Lücke im Farbspektrum lassen sich nicht vorhandene Anteile nicht "dazufil-

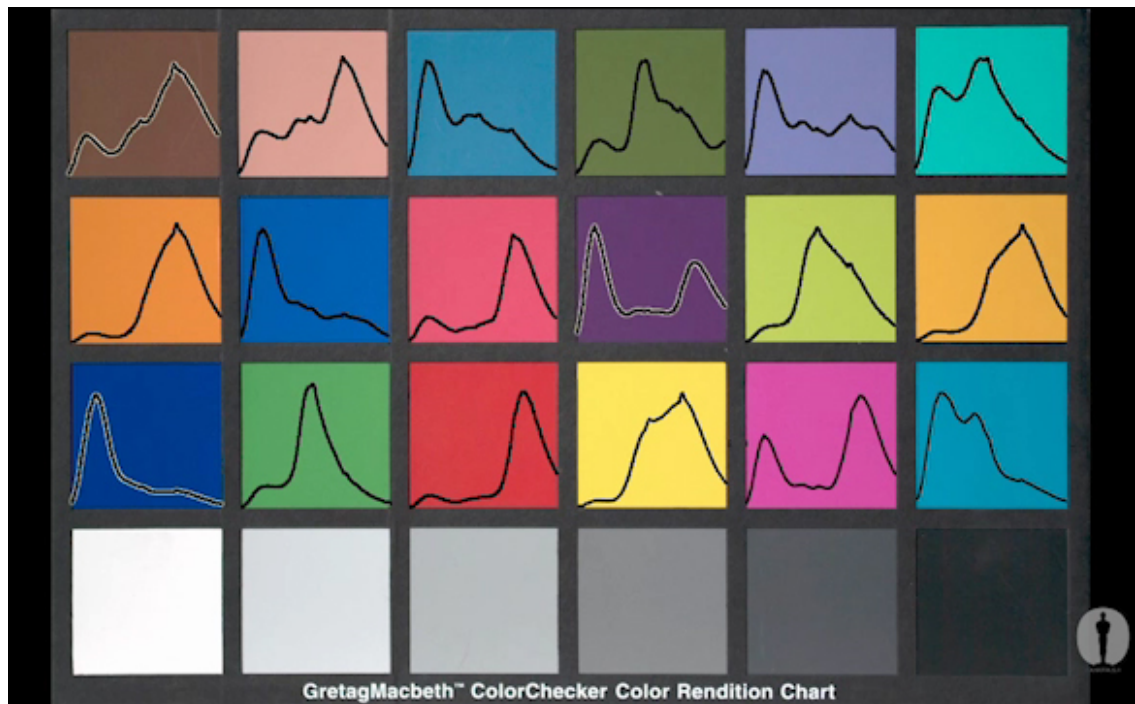
<sup>180</sup> ebd.

<sup>181</sup> ebd.

<sup>182</sup> Vgl. [http://www.oscars.org/video/watch/stc\\_ssl\\_pp\\_erland7.html](http://www.oscars.org/video/watch/stc_ssl_pp_erland7.html), letzter Aufruf 25.11.2011

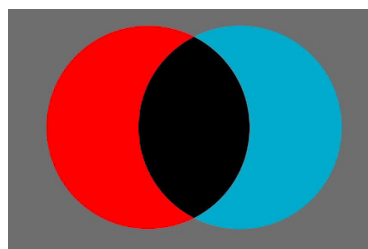
<sup>183</sup> ebd.





**Abbildung 14: Resorptionskurven der Farben der genormten Macbeth-Farbtafel, Grafik: AMPAS**

tern", da eine Filterfolie subtraktiv arbeitet.<sup>184</sup> Ein deutliches Beispiel ist eine rote Lichtquelle in Kombination mit einem Cyan-Filter: das Resultat ist annäherndes Schwarz – nicht cyanfarbenes Licht.<sup>185</sup>



**Abbildung 15: Subtraktion bei den Farben Rot und Cyan, Grafik: AMPAS**

Besonders problematisch ist dies bei Bildsensoren und Filmmaterialien: Die Spektrallinie des LED-Lichts und die Empfindlichkeitskurven des jeweiligen Sensors oder Filmmaterials können im ungünstigen Fall sehr unterschiedlich verlaufen.<sup>186</sup> Folge: Verschiedene Filmmaterialien und verschiedene Sensoren erzeugen bei derselben LED-

<sup>184</sup> Mueller, J., 2006, S. 95

<sup>185</sup> Vgl. [http://www.oscars.org/video/watch/stc\\_ssl\\_pp\\_erland7.html](http://www.oscars.org/video/watch/stc_ssl_pp_erland7.html), letzter Aufruf 25.11.2011

<sup>186</sup> Vgl. [http://www.oscars.org/video/watch/stc\\_ssl\\_pp\\_erland7.html](http://www.oscars.org/video/watch/stc_ssl_pp_erland7.html), letzter Aufruf 25.11.2011

Lichtquelle im schlimmsten Fall praktisch unberechenbar unterschiedliche Resultate.<sup>187</sup> Das schlimmste theoretisch denkbare Szenario ist damit in einer farbkritischen Situation innerhalb eines TV-Studios oder am Filmset der parallele Einsatz mehrerer Kameras mit stark variierenden Empfindlichkeitskurven und der Einsatz verschiedener LED-Leuchten mit stark ungleichmäßigen Spektren.

Bei elektronischen Kameras kann der Einsatz der White Balance-Funktion das Problem etwas mildern.<sup>188</sup> Dabei werden die unterschiedlichen Rot-, Grün-, und Blauanteile auf einer weißen oder grauen Fläche von der Kamera elektronisch auf ein einheitliches Niveau angehoben.<sup>189</sup> Folglich werden zumindest weiße Flächen und Graubereiche von der Kamera neutral wiedergegeben.<sup>190</sup> Bei der Wiedergabe der unterschiedlichen Farben existiert dabei durch die zuvor besprochenen Probleme (Resorptionskurven der Farben, Empfindlichkeitskurven des Filmmaterials oder Bildsensors) weiterhin keine Einheitlichkeit.<sup>191</sup>

Von daher ist ein möglichst gleichmäßiges, lineares Spektrum von Leuchtmitteln für eine korrekte Farbwiedergabe absolut essentiell.<sup>192</sup>

Die Hersteller von LED-Leuchten und Leuchtmitteln arbeiten hart an einer Optimierung der Farbwiedergabe.<sup>193</sup>

Eine Verbesserung diesbezüglich konnte z.B. durch den Einsatz von Multiband-LEDs erreicht werden, bei denen das Spektrum des Lichts durch zusätzliche LEDs mit spezifischen einzelnen Farben ergänzt wird.<sup>194</sup>

---

<sup>187</sup> ebd.

<sup>188</sup> Vgl. Interview Dedo Weigert in dieser Arbeit, Kapitel 4.3

<sup>189</sup> Vgl. Möllering/Slansky, 1993, S. 222

<sup>190</sup> ebd.

<sup>191</sup> Vgl. Interview Dedo Weigert in dieser Arbeit, Kapitel 4.3

<sup>192</sup> Vgl. [http://www.oscars.org/video/watch/stc\\_ssl\\_pp\\_erland7.html](http://www.oscars.org/video/watch/stc_ssl_pp_erland7.html), letzter Aufruf 25.11.2011

<sup>193</sup> Vgl. <http://de.wikipedia.org/wiki/Led>, letzter Aufruf 25.11.2011

<sup>194</sup> Vgl. Interview Dedo Weigert in dieser Arbeit, Kapitel 4.3

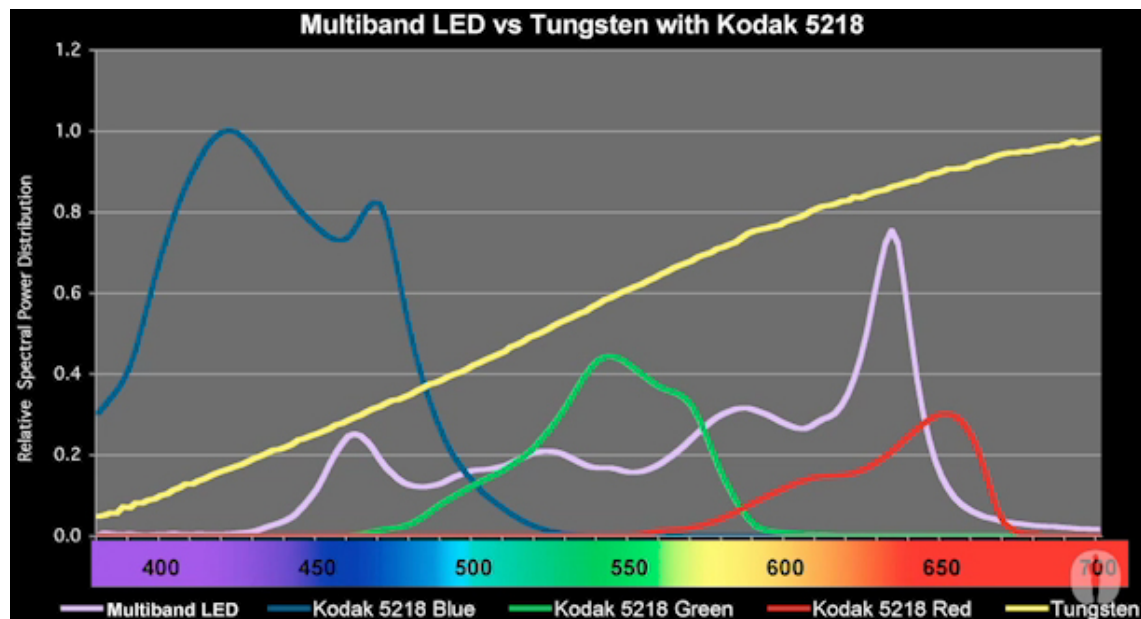


Abbildung 16: Spektralkurven von Multiband-LEDs und dem Filmmaterial Kodak 5218, Grafik: AMPAS

#### 4.1.2 Der Farbindex CRI bei Leuchtmitteln mit diskontinuierlichem Spektrum

An dieser Stelle wird deutlich, warum der Farbindex CRI u.a. bei LED-Licht für die Farbwiedergabe bei der Bildaufzeichnung mit Film oder Bildsensoren keine verlässlichen Ergebnisse liefert: Die gemessene Farbwiedergabe der 14 genormten Farben im Vergleich zu Referenzlicht liefert vielleicht einen ersten Anhaltspunkt, berücksichtigt aber nicht die Problematik unterschiedlicher Empfindlichkeitskurven von Filmmaterialien und CCD-/CMOS-Bildsensoren.<sup>195</sup>

### 4.2 Praktische Erfahrungen: Solid State Lighting Project der AMPAS

Anfang 2011 wurden von der AMPAS (Academy of Motion Picture Arts and Sciences) die Ergebnisse des sogenannten "Solid State Lighting Project" veröffentlicht. Die AMPAS existiert seit 1927 und ist vor allem durch die Vergabe der Academy Awards (Oscars) bekannt.<sup>196</sup> Die Organisation beschäftigt sich seit dem Jahr 1928 mit

<sup>195</sup> Vgl. [http://www.oscars.org/video/watch/stc\\_ssl\\_pp\\_erland7.html](http://www.oscars.org/video/watch/stc_ssl_pp_erland7.html), letzter Aufruf 25.11.2011

<sup>196</sup> Vgl. <http://www.oscars.org/academy/history-organization/index.html>, letzter Aufruf 26.11.2011

technischen Studien zum Thema Filmlicht und nahm sich mit dem "Solid State Lighting Project" auch dem LED-Licht im Film an.<sup>197</sup>

Unter anderem unternahm das Science and Technology Council der AMPAS Testaufnahmen mit Studioglühlucht und verschiedenen marktüblichen LED-Typen.<sup>198</sup>

- Leuchte 1: Refrenzstudioglühlucht
- Leuchte 2: Phosphor-Weißlicht-LED-Leuchte A
- Leuchte 3: Phosphor-Weißlicht-LED-Leuchte B
- Leuchte 4: Multifarb-LED-Leuchte

### 4.2.1 Split Macbeth-Test (Fotoseite 2)

Anhand eines genormten Macbeth Color-Charts, der pro Farbfeld horizontal geteilt ist (Referenzglühlucht oben, LED unten), lassen sich Unterschiede in der Farbwiedergabe eindeutig erkennen.<sup>199</sup>

- Abbildung XX: Bei einer typischen Phosphor-Weißlicht-LED fallen diese sichtbar drastisch auf. Grautöne kippen sichtbar Richtung Magenta, sehr offensichtlich weichen auch die Cyanblaubereiche ab und kippen Richtung Magenta. Intensives Rot wird verhältnismäßig schwach gesättigt wiedergegeben – Gelb hingegen ist sichtbar übersättigt.<sup>200</sup>
- Abbildung XY: Die Multi-Emitter-LED hingegen hat eine deutlich andere Farbwiedergabe. Auch sie weicht von dem Referenzglühlucht ab, kommt jedoch laut dem Macbeth-Chart sichtbar näher an die Referenz. Weiß erscheint etwas zu warm, auch hier gibt es offensichtliche Probleme mit Rot (zu ungesättigt), Cyan

---

197 Vgl. <http://www.oscars.org/science-technology/council/projects/ssl/index.html>, letzter Aufruf 26.11.2011

198 Vgl. <http://www.oscars.org/science-technology/council/projects/ssl/technicalinfo.html>, letzter Aufruf 26.11.2011

199 ebd.

200 Vgl. <http://www.oscars.org/science-technology/council/projects/ssl/technicalinfo.html>, letzter Aufruf 26.11.2011

weicht zu sehr in Richtung Grün ab – ansonsten scheint sie die meisten der Farben jedoch verhältnismäßig gut wiederzugeben.<sup>201</sup>

Doch der realitätsnahste Teil des Solid State Lighting Projects der AMPAS ist die Versuchsreihe mit Testpersonen und Gegenständen. Diese wurden auf Filmmaterial mit Studioglühlucht (Nummer 1 auf den Bildern) und verschiedenen gängigen LED-Filmlampentypen (Nummer 2-4) abgelichtet und miteinander verglichen.<sup>202</sup>

Auszüge von drei der sieben von der AMPAS durchgeführten Praxistests sind im Folgenden zu finden.

#### 4.2.2 Portrait-Test (Fotoseite 1)

In diesem Test werden verschiedene Menschen mit unterschiedlichen Hauttypen unter Glüh- und LED-Licht miteinander verglichen. Sie sind mit typischem Filmmakeup eines gängigen Herstellers maskiert. Auf Fotoseite 1 sind aus den Testvideos extrahierte Standbilder von 2 repräsentativen Beispielen, die einmal mehr, einmal weniger drastisch ausfallen.<sup>203</sup>

- Protagonist, asiatisch, Kunstlicht gegen Phosphor-LED A:  
Bei der hellhäutigen asiatischen Testperson zeichnet LED-Leuchte 2 im Gegensatz zu Kunstlicht ein eher leicht abweichendes Bild.<sup>204</sup>  
Die Kommentatoren der AMPAS-Mitglieder bei den Testvideos :  
*Person 1: "(...)and here, just ever so slightly, it begins to read like makeup – a little more sallow.*"<sup>205</sup>
- Protagonist, asiatisch, Kunstlicht gegen Multifarb-LED:  
Dagegen ist bei dem Test mit LED-Lampe 4 eine sehr drastische Veränderung

---

201 ebd.

202 Vgl. [http://www.oscars.org/video/watch/stc\\_ssl\\_pp\\_makeup.html](http://www.oscars.org/video/watch/stc_ssl_pp_makeup.html), letzter Aufruf 26.11.2011

203 ebd.

204 Vgl. [http://www.oscars.org/video/watch/stc\\_ssl\\_pp\\_makeup.html](http://www.oscars.org/video/watch/stc_ssl_pp_makeup.html), letzter Aufruf 26.11.2011

205 ebd.

entgegen dem Glühlicht zu erkennen.<sup>206</sup>

Kommentar der AMPAS:

*Person 1: "And here there's a very green undertone that really, really dominates, turning him very, very sallow. (...) It's the same makup, same actor – the only thing that changed here is light."*

*Person 2: "And again, he looked perfectly heathy to the eye."<sup>207</sup>*

- Protagonistin, dunkelhäutig, Kunstlicht gegen Phosphor-LED A:  
Hier ist bei einer dunkelhäutigen Testperson zwischen Referenz und LED-Leuchte 2 ein sichtbarer, jedoch verhältnismäßig kleiner Unterschied zu erkennen.<sup>208</sup>

Kommentar AMPAS:

*Person 1: "She starts to go a littly muddy here. The richness of the tone is diminished."*

*Person 2: "In the studio we were not seeing the difference that you're seeing here now."<sup>209</sup>*

- Protagonistin, dunkelhäutig, Kunstlicht gegen Multifarb-LED:  
Bei Leuchte 4 hingegen ist der Unterschied sehr klar und gibt ein Ergebnis, das ohne Korrekturen in der Nachbearbeitung vermutlich kaum zu gebrauchen sein wird.<sup>210</sup>

Kommentar AMPAS:

*Person 1: "She looks like plastic"*

*Person 2: "Again, the make-up looks is very heavy, it looks 'makeupey'. "*

*Person 1: "And again: when we're standing in the studio she looked lovely."<sup>211</sup>*

---

206 ebd.

207 ebd.

208 ebd.

209 ebd.

210 Vgl. [http://www.oscars.org/video/watch/stc\\_ssl\\_pp\\_makeup.html](http://www.oscars.org/video/watch/stc_ssl_pp_makeup.html), letzter Aufruf 26.11.2011

211 ebd.

### 4.2.3 Ausstattungs-Test (Fotoseite 2):

Ein Sessel mit unterschiedlichen Rotschattierungen und ein Blumenstrauß mit überwiegend Cyan- und Magentaanteilen werden bei diesem Versuch wieder mit Studioglühlicht und verschiedenen LED-Filmlampen beleuchtet.

Der vierfach-Vergleich zeigt heftige Unterschiede in der Farbwiedergabe. Die Rottöne des Sessels variieren deutlich sichtbar, der Blumenstrauß im Hintergrund ändert je nach Lichtquelle seine Farbe derart stark, dass ein Betrachter ohne Angabe der Referenz wohl kaum nur in der Lage wäre, die Farbe eindeutig zu benennen.<sup>212</sup>

Kommentar AMPAS:

*Person 1: "(...)to me it's the unpredictability that makes it really nerve-wrecking. Certainly in our work we are used to doing camera tests, but, in a time, movies are there on their way in you've done with your subjects your camera tested. And for people like us, like set dressers and set decorators and art directors, it becomes pretty problematic to predict how the colors are gonna interact. And having number one as our standard as human beings, which we are used to looking at things in incandescent sort of lighting, the new solid state lighting is creating a different situation. It's almost like it's rendering the cameras colorblind - it's almost like pieces are dropping out and it's unpredictable how it's gonna affect it. I think everybody can see the change."*<sup>213</sup>

### 4.2.4 Fazit der AMPAS

Als Fazit des Tests sieht die AMPAS LED-Licht prinzipiell als extrem vielversprechende neue Technologie, die große Effizienz mit großer Vielseitigkeit und Flexibilität verbindet, allerdings zum Zeitpunkt des Tests noch mit großen Problemen zu kämpfen hat.<sup>214</sup> Sie warnt vor ernsthaften unbeabsichtigten und extrem teuren Konsequenzen, die durch

---

<sup>212</sup> Vgl. [http://www.oscars.org/video/watch/stc\\_ssl\\_pp\\_props1.html](http://www.oscars.org/video/watch/stc_ssl_pp_props1.html), letzter Aufruf 26.11.2011

<sup>213</sup> ebd.

<sup>214</sup> Vgl. [http://www.oscars.org/video/watch/stc\\_ssl\\_pp\\_erland7.html](http://www.oscars.org/video/watch/stc_ssl_pp_erland7.html), letzter Aufruf 26.11.2011

den Einsatz von LED-Licht ohne entsprechendem Verständnis der bestehenden Probleme entstehen können.<sup>215</sup> Darüber sind laut Einschätzung der AMPAS bestehende Messgrößen (wie der CRI) zur angemessenen Beurteilung der Farbwiedergabequalität von Lichtquellen bei digitalen Bildsensoren und Film nicht ausreichend.<sup>216</sup> Diese müssen laut AMPAS durch aussagekräftigere und zweckmäßigere Indikatoren ersetzt werden – falls diese überhaupt machbar sind.<sup>217</sup>

---

215 ebd.

216 ebd.

217 ebd.



### 4.3 Interview mit Dedo Weigert

Bei den Recherchen bekam der Autor dieser Arbeit am 22.11.2011 im Vorfeld eines Seminars der Dedo Weigert Film GmbH die Gelegenheit, mit Filmtechnik-Ingenieur Dedo Weigert ein knapp halbstündiges Interview zu führen.

Dedo Weigert (geboren 1938 in Breslau<sup>218</sup>) ist neben seiner langjährigen erfolgreichen Tätigkeit als Director of Photography, Produzent und Regisseur für etliche Erfindungen verantwortlich, die in der heutigen Film- und Fernsehindustrie nicht mehr wegzudenken sind.<sup>219</sup> Er hält über zwanzig Patente in diesem Bereich, unter anderem für die Erfindung der Dedolights, die mit dem „Technical Achievement Award“ des Oscar-Komitees ausgezeichnet wurden und in den Bereichen Filmproduktion, Fernsehen, Fotografie und Architekturbeleuchtung zur weltweit bestverkauften Leuchte avancierten.<sup>220</sup>

Seine Firmen Dedo Weigert Film GmbH, zusammen mit Partnerfirma und Entwicklungsschmiede Dedotec, entwickeln und vertreiben unter anderem eigene LED-Filmleuchten. Sie sind jedoch auch Reseller für viele bekannte Marken in dem Bereich, wie beispielsweise Litepanels, Gekko und Rosco und verfügen folglich über ein großes Know-How auf dem Gebiet<sup>221</sup>

**Autor:** *Herr Weigert, wie sehen Sie den aktuellen Ansturm auf die LED-Technik?*

**Dedo Weigert:** LED ist ein Hypewort. Heutzutage gibt es drei davon: 3D, DSLR und LED.

Was sind die Gründe für LED? Weil wir damit den Planeten retten wollen. Warum retten LEDs den Planeten? Weil sie ewig lange halten. Es kursieren Angaben von 50.000 Stunden oder mehr - ob die wirklich zutreffen, weiß jedoch momentan noch niemand. Oder vielleicht, weil LEDs keine Hitze erzeugen? Das ist eine absolute Lüge. Das Hauptproblem bei LEDs ist Hitze. Unsere 40-W-LED bräuchte konventionell einen riesigen Kühlkörper. Unsere kleine Onboard-Leuchte, die Ledzilla, ist mit einer 16-Watt-LED ausgestattet, wird jedoch nur mit 8 W betreiben. Wieso? Wegen der Effizienz. Wenn wir sie mit 16 Watt betreiben, wird sie heiß und stürzt in der Lichtausbeute und in

---

218 Vgl. <http://dedoweigertfilm.de/dedo/default.php?la=0&pg=01>, letzter Aufruf 1.12.2011

219 ebd.

220 Vgl. [http://dedolight.com/www/dedolight/default.php?la=&pg=000004000000&id=Dedolight\\_story&section=0](http://dedolight.com/www/dedolight/default.php?la=&pg=000004000000&id=Dedolight_story&section=0), letzter Aufruf 1.12.2011

221 Vgl. <http://dedoweigertfilm.de/dedo/default.php?la=0&pg=00000417>, letzter Aufruf 1.12.2011

der Farbe ab, wahrscheinlich auch in ihrer Lebensdauer. Wobei sie schon eine komplexe und hochentwickelte Passivkühlung besitzt.

**Autor:** *Um einen Lüfter (Ventilator) zu vermeiden?*

**Dedo Weigert:** Es gibt auch Firmen, die eine Onboard-Leuchte, die ja direkt über dem Mikrofon der Kamera sitzt, mit einem eingebauten Ventilator kühlen. Das finde ich persönlich mutig.

Hier kann man sehen (*öffnet LED-Zilla*): Das große Bauteil ist ausschließlich die Passivkühlung. Doch wohin transportiert man die Hitze ab? Wir haben versucht, den großen Wärmeleiter in der Mitte dünner zu gestalten um mehr Fläche für die Kühlrippen zu haben - doch das hat überhaupt nicht funktioniert. Er ist in der Größe notwendig, um die Hitze zu transportieren. Deshalb haben wir in den leistungsstärkeren Leuchten jetzt Heatpipe-Systeme, also Kupferrohre mit einer Flüssigkeit, die Wärme abtransportiert.

**Autor:** *Also eine Flüssigkühlung, wie sie bei Computern üblich ist?*

**Dedo Weigert:** Ja, das Problem ist bloß: Beim Scheinwerfer gibt es keine bevorzugte Arbeitsposition - je nachdem, in welche Richtung er ausgerichtet ist, fließt die Kühlflüssigkeit unterschiedlich. Um das zu lösen, haben wir nun zwei Systeme parallel eingebaut, die sich gegenseitig ergänzen.

**Autor:** *Kühlung ist also eins der Hauptprobleme bei LEDs?*

**Dedo Weigert:** Definitiv.

**Autor:** *Noch einmal zurück zum Thema der Lebensdauer von LEDs - wie sieht es bei dem Thema Ihrer Erfahrung nach aus?*

**Dedo Weigert:** Das ist tatsächlich eine Frage, bei der wir uns noch nicht genau sicher sind. Es gibt Angaben von 50.000 Stunden, es gibt vorsichtigeren Angaben von 30.000 Stunden. Aber eine ganz wichtige Frage dabei ist: Wie viel Licht gibt sie nach einer bestimmten Zeit noch ab? Gus Holt zum Beispiel, angesehener Experte auf dem Gebiet der LED-Technik, hat vor 1 1/2 Jahren noch Behauptungen aufgestellt, wonach eine LED nach bereits 500 Stunden bereits nur noch mit 50% ihrer ursprünglichen Leistung arbeiten soll! Genau sagen kann es zum jetzigen Zeitpunkt einfach noch niemand.

**Autor:** *Wie ist der aktuelle Stand der Dinge bei der Farbwiedergabe aus?*

**Dedo Weigert:** CBS<sup>222</sup> hat Studios vor 2 1/2-3 Jahren Studios mit LED-Licht eingerichtet. Inzwischen sind die Leuchten alle wieder rausgeflogen und durch Kunstlicht ersetzt worden.

**Autor:** *Warum?*

**Dedo Weigert:** Über die genauen Ursachen gibt es viele Gerüchte. Jemand, der ein solches Investment verantwortet, gibt nicht gerne zu, dass er unter Umständen einen Fehler gemacht hat. Oft wird jedoch von Problemen bei der Farbwiedergabe oder Farbkonsistenz gesprochen. Wobei das wieder bei dem heutigen Stand der Technik bei aktuellen Leuchten gar nicht mehr zutreffen muss. Die Entwicklung geht in dem Bereich drastisch voran.

Wir haben bei Lightpanels einen CRI um die 74 bei der Tageslicht-Variante, unsere Felloni liegt bei 84, die Fellini sind noch ziemlich weit unten.

Dahinter kommen die Multifarb-Leuchten. Bei denen gibt es viele verschiedene Theorien, welches das beste Verfahren ist. Es gibt Leuchten, die auf RGB basieren. Viele sind aber der Meinung, dass man für eine gute Farbwiedergabe mehr Farben braucht. Rot, Grün, Blau, Weiss und Amber (Bernsteinfarben) war lange Zeit als das Non-Plus-Ultra beim sogenannten "Kelvin Tile" angesehen. Es war vom texanischen Hersteller Element Labs entwickelt worden. Viele behaupten noch heute, es wäre das beste Verfahren und bringe die beste Farbsättigung, obwohl wir mittlerweile Leuchten haben, die das viel besser können. Das Kelvin-Tile war teuer, schwer, aber der eigentliche Nachteil: Es kam kein Licht raus. Es war einfach zu ineffizient.

Unsere Pasolite funktioniert nach einem ähnlichen Verfahren, welches aber optimiert wurde. Man kann dabei z.B. ein reines Blau oder Grün einstellen - oder aber ein Tageslicht mit 4300° Kelvin dem man etwas Grün hinzumischt, um ein Leuchtstoffröhrenlicht zu simulieren.

**Autor:** *Multifarbsysteme leiden ja bekanntlich unter der Tatsache, dass die verschiedenfarbigen LEDs unterschiedlich schnell altern und dadurch die Farben kippen. Wie geht man mit den Schwierigkeiten bei der Farbkonsistenz um?*

---

222 privater Fernsehsender aus den USA

**Dedo Weigert:** Dabei gibt es Fortschritte durch Sensoren, welche die Farbigkeit des LED-Lichts konstant messen und Abweichungen durch Alterung nachjustieren. Aber auch dabei stellt sich wieder die Frage: Wie lange braucht wiederum der Sensor bis er altert und falsche Werte zeigt?

Farbmessung ist aber auch ein grundsätzliches Problem bei LED-Licht. Farbmesser haben drei, heutzutage eher vier Sensorzellen, die für sich einzelne Teile des Spektrums messen. So gibt es quasi über das gesamte Spektrum verteilt bei der Messempfindlichkeit Berge und Täler. Bei Tungsten ist das kein Problem, wenn man aber eine Lichtquelle mit deutlichen Spikes hat, kann man völlig falsche Werte angezeigt bekommen. Dann sieht man sich das Spektrum von LEDs an und sieht, dass es kaum enge Spikes hat, nur ein größeres Tal. Trotzdem stimmen die Messungen einfach nicht mit den Ergebnissen überein. Man guckt auf die Planck-Kurve und sie ist perfekt. Man schaut auf die x/y-Koordinaten und die sind perfekt. Man schaut auf das Bild der Kamera und hat einfach keine anständigen Farben.

**Autor:** *Wie kann man bei der praktischen Arbeit mit LED-Leuchten diesen Problemen am besten entgegensteuern?*

**Dedo Weigert:** Der Weißabgleich bei elektronischen Kameras hilft schon zu einem großen Teil - so lange man nicht verschiedene Leuchten mischt. Filtern (mit Folien) ist schwierig: Man kann vielleicht Spitzen im Spektrum wegfiltern, man kann aber kein Tal zufiltern. Kein Filter kann irgendetwas dorthinschaffen, wo eben nichts ist. Man kann bloß alle Spitzen so weit runterbringen, dass der Unterschied zum Tal nicht mehr da ist. Und wenn man das geschafft hat, merkt man, dass man kein Licht mehr hat. Deshalb muss man Lichtausbeute und Farbqualität gut ausbalancieren. Und da sind wir wieder bei einer gängigen Lüge über LED-Licht: LED muss sein, da wir damit Energie sparen und den Planeten retten. Je besser die LED jedoch bei der Farbwiedergabe ist, desto schwächer ist ihre Lichtausbeute. Bis runter auf 30 Lumen/Watt. Die normale Halogenlampe hat 20 Lumen/Watt, unsere Niedervolt-Halogenlampen haben 40 Lumen/Watt und eine HMI hat 80 Lumen pro Watt.

**Autor:** *Wo wir gerade bei diesem Thema sind: Gibt es Ihrer Erfahrung nach einen wirklich verlässlichen Index, der beschreibt, wie gut die Farbwiedergabe von LED-Licht im Zusammenspiel mit elektronischen Bildsensoren oder Film ist?*

**Dedo Weigert:** Unsere Meinung: Das ultimative Werkzeug zur Messung ist der Chip in der Kamera. Um den kommen wir nicht umher.

Ansonsten ist zumindest ein gängiger Anhaltspunkt bei Leuchtstoffröhren und LEDs der R9-Wert, also der Farbwiedergabewert für Rot<sup>223</sup>. Da gibt es dabei oft die größten Defizite. Selbst bei einigen Kinoflo-Leuchtmitteln, eigentlich weltweiter Industriestandard, gibt es dabei Mängel. Der Durchschnittswert Ra kann selbst bei Leuchten mit einem miesen R9-Wert immer noch halbwegs brauchbar aussehen.

**Autor:** *Herr Weigert, eine abschließende Frage: Wo sehen Sie den Einsatz von LED-Technik in Film und Fernsehen in Zukunft? Sehen Sie LEDs eher bei kleinen, mobilen Teams oder gibt es auch Szenarien im High-End-Bereich, bei denen der Einsatz von LED-Lampen Sinn machen würde?*

**Dedo Weigert:** Wer trägt Yves Saint-Laurent, wer trägt Prada? Modefragen. Es wird Leute geben, die einen religiösen Erbe bewahren wollen und sagen: "Wenn ich saubere Farben haben will, brauche ich Halogenlicht". Oder andere, die 20 Jahre lang mit HMI gearbeitet haben und davon nicht im Stich gelassen wurden - also bleiben sie dabei. Es gibt Leute, die mit LEDs gut zurechtkommen. Durch die Magie vom White Balance und weil sie es nicht mischen. Und andere eben nicht. Und wieder andere sagen: „Vielleicht ist die Lösung beim Plasma-Licht“ (LEP). Das aber bislang genauso wenig funktioniert wie viele andere Sachen...

**Autor:** *Herr Weigert, vielen Dank für das Gespräch.*

---

<sup>223</sup> siehe Kapitel 2.2

## 4.4 Praktische Erfahrungen: eigene Testreihe des Autors

### 4.4.1 Die sechs Versuchsmodelle

- **Vergleichslampe: HMI, 575 Watt:** Diese Filmleuchte ist in diesem Test die einzige, die nicht auf der LED-Technik basiert. Es handelt sich um einen typischen Stufenlinsen-Filmscheinwerfer mit einer Leistung von 575 Watt und einem HMI-Brenner der Firma Osram.
- **LED-Leuchte 1: ARRI LoCaster**

Diese kompakte Leuchte ist in der preislichen Oberklasse angesiedelt und ein sehr aktuelles Modell. Sie ist mit einem Dimmer ausgestattet und bietet eine einstellbare Farbtemperatur im Bereich von 2800°Kelvin bis 6500°Kelvin<sup>224</sup>. Dahinter steckt ein Multi-LED-System das aber vom Hersteller ARRI nicht näher spezifiziert wird<sup>225</sup>. Durch einen speziellen Glasdiffusor gibt die Lampe jedoch ein absolut ebenmäßiges Licht aus bei dem keine Mehrfachschatten erkennbar sind.

Laut Herstellerangaben soll der LoCaster einen hohen CRI von 90 erreichen.<sup>226</sup>
- **LED-Leuchte 2: Cineroid LED-Light**

Das LED-Licht von Cineroid ist die kleinste Flächenleuchte in dem Vergleich und zudem die einzige, die statt mit T-Type LEDs mit SMD-LEDs arbeitet. Sie ist hauptsächlich als Kamerakopfleuchte konzipiert und liegt preislich in der unteren Mittelkategorie.<sup>227</sup> Bei dem Testgerät liegen zwei ansteckbare Module für

---

224 Vgl. [http://www.arri.com/lighting/lighting\\_emea/led\\_systems/caster\\_series/locaster.html#\\_blank](http://www.arri.com/lighting/lighting_emea/led_systems/caster_series/locaster.html#_blank), letzter Aufruf 3.12.2011

225 Auf telefonische Nachfrage beim Hersteller ARRI

226 Vgl. [http://www.arri.com/lighting/lighting\\_emea/led\\_systems/caster\\_series/locaster.html#\\_blank](http://www.arri.com/lighting/lighting_emea/led_systems/caster_series/locaster.html#_blank), letzter Aufruf 3.12.2011

227 Vgl. [http://www.bhphotovideo.com/c/product/827814-REG/Cineroid\\_L2C\\_3K\\_L2C\\_3K\\_LED\\_LIGHT.html](http://www.bhphotovideo.com/c/product/827814-REG/Cineroid_L2C_3K_L2C_3K_LED_LIGHT.html), letzter Aufruf 3.12.2011

Kunst- und Tageslicht bei. Selbstverständlich wird bei dem Vergleich das Tageslichtmodul benutzt, welches laut Hersteller eine Farbtemperatur von 5000°Kelvin besitzen soll.<sup>228</sup> Zur Farbwiedergabecharakteristik finden sich keine Herstellerangaben. Das Cineroid LED-Light ist in 30 Stufen dimmbar und zeigt die Helligkeitsstufe zur Reproduzierbarkeit der Einstellung in einem LCD-Display an.<sup>229</sup> Beeindruckend ist die Leistung der Leuchte: Es ist trotz geringer Größe offensichtlich das stärkste Kamerakopflicht in dem Test.

- **LED-Leuchte 3: Litepanels MiniPlus**

Das Litepanels MiniPlus ist der "Klassiker" unter den LED-Film-/TV-Leuchten, bereits seit ca. 2005 auf dem Markt und stark verbreitet.<sup>230</sup> Das MiniPlus ist eine typische Kamerakopfleuchte und liegt preislich in der oberen Mittelklasse.<sup>231</sup> Laut mündlicher Auskunft des Technikverleihs MBF Berlin ist das für den Test verfügbare Modell eines der ersten Generation. Es handelt sich um die Flood-Tageslichtvariante, die bei einer Farbtemperatur von stufenlos dimmbaren 5600°Kelvinliegen soll.<sup>232</sup> Zum Thema der Farbwiedergabequalität gibt es vom Hersteller keine offiziellen Angaben.<sup>233</sup>

- **LED-Leuchte 4: Dedo Weigert Film TecPro Felloni**

Die Felloni ist eine Flächenleuchte mit größeren Ausmaßen als Modell 1 & 2. Sie ist nicht als Onboard-Leuchte konzipiert und wird bei mobilen Teams wohl meist als Interviewlicht auf Stativen eingesetzt oder fest in Studios verbaut. Preislich liegt sie in der unteren Mitte.<sup>234</sup> Für den Test steht die Standard-Tageslicht-Variante der Felloni zur Verfügung, die bei 5600°Kelvin laut Dedo Weigert Film liegen soll.<sup>235</sup>

Obwohl es sich bei dem Modell nicht um die High-Power-Variante der Leuchte

---

228 Vgl. <http://www.cineroidusa.com/shop/step1.php?number=7#good4>, letzter Aufruf 3.12.2011

229 ebd.

230 Vgl. <http://www.litepanels.com/language/pages/miniplus.php>, letzter Aufruf 3.12.2011

231 Vgl. [http://www.bhphotovideo.com/c/product/487072-REG/Litepanels\\_FA30\\_MiniPlus\\_5600K\\_LED\\_AC\\_DC.html](http://www.bhphotovideo.com/c/product/487072-REG/Litepanels_FA30_MiniPlus_5600K_LED_AC_DC.html), letzter Aufruf 3.12.2011

232 Vgl. <http://www.litepanels.com/language/pages/miniplus.php>, letzter Aufruf 3.12.2011

233 ebd.

234 Vgl. [http://www.bhphotovideo.com/c/product/769806-REG/Dedolight\\_TP\\_LONI\\_LPD50\\_Felloni\\_Techpro\\_45\\_Deg.html](http://www.bhphotovideo.com/c/product/769806-REG/Dedolight_TP_LONI_LPD50_Felloni_Techpro_45_Deg.html), letzter Aufruf 3.12.2011

handelt, wirkt sie augenscheinlich ziemlich leistungsstark. Laut Herstellerangaben bietet die Felloni eine 30% höhere Lichtausbeute bei 50% weniger Energieverbrauch als ihr bekanntester Konkurrent.<sup>236</sup> Sie besitzt einen stufenlosen Dimmer, ihr CRI liegt laut Hersteller bei 84.<sup>237</sup>

- **LED-Leuchte 5: Prototyp – High-Power-50 Watt-Leuchte**

Diese Lampe stellt in vielen Belangen einen deutlichen Kontrast zu allen anderen Modellen in diesem Test dar. Zum einen ist sie die einzige punktförmige Lichtquelle und erzeugt ihr Licht mit einer COB-LED, zum anderen ist sie bei einer Leistung von ca. 50 Watt mit großem Abstand die Stärkste der 6 LED-Leuchten. Nach der subjektiven Schätzung des Autors ist ihre Lichtleistung in etwa mit einer 500 Watt Halogenlampe vergleichbar. Bei voller Leistung läuft sie auf der höchsten Leistungsstufe mit dem fest verbauten Akku satte 5 Stunden – ein Wert der nach einem Praxistest bestätigt werden kann.

Der Prototyp ist von der Firma DBM Energy entwickelt worden und wurde noch nicht auf den Einsatz im Film- und Fernsehbereich optimiert. Es existieren noch keine Zahlen über Farbwiedergabequalität oder Farbtemperatur – augenscheinlich liegt die Leuchte mit ihrem kühlen Licht sehr deutlich über 5600°Kelvin.

- **LED-Leuchte 6: Nanguang CN-126**

Die CN-126 ist als Onboard-Leuchte konzipiert und mit großem Abstand das günstigste Modell in dem Vergleich.<sup>238</sup> Sie ist dabei die einzige der sechs Leuchten, die neben professionellen Akkus auch über handelsübliche Mignon-Batterien betrieben werden kann.<sup>239</sup> Auch sie besitzt einen eingebauten stufenlosen Dimmer. Ihre Farbtemperatur soll laut Hersteller bei 5400°Kelvin liegen, weitere Angaben zur Farbwiedergabequalität finden sich bei den Angaben von Nanguang nicht.<sup>240</sup>

---

<sup>235</sup> Vgl. <http://www.dedoweigertfilm.de/dedo/default.php?la=0&pg=0000041906&id=Felloni&section=0>, letzter Aufruf 3.12.2011

<sup>236</sup> Vgl. <http://www.dedoweigertfilm.de/dedo/default.php?la=0&pg=0000041906&id=Felloni&section=0>, letzter Aufruf 3.12.2011

<sup>237</sup> ebd.

<sup>238</sup> Vgl. [http://www.amazon.de/LED-Videoleuchte-NG-126-650-Camcorder-Kameras/dp/B0038WL6KK/ref=sr\\_1\\_2?s=ce-de&ie=UTF8&qid=1323305518&sr=1-2](http://www.amazon.de/LED-Videoleuchte-NG-126-650-Camcorder-Kameras/dp/B0038WL6KK/ref=sr_1_2?s=ce-de&ie=UTF8&qid=1323305518&sr=1-2), letzter Aufruf 3.12.2011

<sup>239</sup> Vgl. <http://www.nanguang.de/led-videoleuchte/nanguang-led-videoleuchte-ng-126-650-lux.html>, letzter Aufruf 3.12.2011

<sup>240</sup> ebd.



## 4.4.2 Versuchsanordnung Test 1: Spektralfotografie

### 4.4.2.1 Das Eigenbau-Spektrometer

Zur Messung der Spektralkurven von Leuchtmitteln oder Leuchten werden gewöhnlicherweise von den Lampenherstellern sogenannte Spektroskope benutzt. Dies sind dezidierte Geräte, welche präzise vergleichbare numerische Ergebnisse liefern. Allerdings sind selbst verhältnismäßig günstige Modelle bereits im Bereich von mehreren tausend Dollar, bzw. Euro angesiedelt, beispielsweise das Modell Maya2000 Pro des Herstellers Ocean Optics mit einem Einstiegspreis von 5.800\$.<sup>241</sup>

Es gibt allerdings günstige Alternativen, die ursprünglich aus dem Bereich der Astronomie stammen und mithilfe einer beliebigen Fotokamera mittlerer Klasse bereits bei korrekter Durchführung sehr aufschlussreiche Ergebnisse liefern. Über das Verfahren der Spektralfotografie lassen sich zwar keine mathematischen Ergebnisse erzielen, die in ihrer Genauigkeit mit dezidierten Spektrografen mithalten können, über das spektrale Verhalten einer Lichtquelle liefern sie aber in ihrer visuellen Form sehr anschauliche und nachvollziehbare Ergebnisse.

Der von Michael Schauffert<sup>242</sup> selbst konstruierte Spektroskopievorsatz für die digitale Fotokamera Olympus EP-1 basiert grundlegend auf dem Prinzip der Lichtbeugung mittels eines Blazegitters. Dieses zerstreut das durch einen schmalen Spalt (der sogenannte Kollimator) eintreffende Licht in seine spektralen Anteile und stellt bei Vollspektrumlicht einen Effekt her, der einem Regenbogen ähnelt.<sup>243</sup> Das so erzeugte Spektrum lässt sich mit einer analogen oder digitalen Fotokamera anschließend aufnehmen und analysieren.

Das dabei verwendete Blaze-Gitter ist eine Erfindung der Firma Baader Planetarium.<sup>244</sup> Es besitzt grundlegende Vorteile gegenüber anderen Verfahren für die Zerlegung (Dispersion) des Lichts: Prismen erzeugen ein ungleichmäßiges Spektrum, welches durch die Absorption im Glas recht schwach ist; Gitter hingegen erzeugen eine beinahe per-

---

241 Vgl. <http://www.oceanoptics.com/products/maya.asp>, letzter Aufruf 5.12.2011

242 Diplom-Kameramann und Zweitprüfer dieser Arbeit

243 Vgl. <http://www.tls-tautenburg.de/research/artie/lectures/spektroskopie.pdf>, letzter Abruf 5.12.2011

244 Vgl. [http://www.baader-planetarium.de/sektion/s31/download/blaze\\_kurz.pdf](http://www.baader-planetarium.de/sektion/s31/download/blaze_kurz.pdf), letzter Abruf 5.12.2011

fekte, gleichmäßige Farbauftrennung und eine höhere Intensität im blauen Bereich.<sup>245</sup>

Allerdings ist ihr prinzipieller Nachteil die Erzeugung von mehreren Spektren, auf die das einfallende Licht aufgeteilt wird; ein einzelnes Spektrum ist sehr schwach. Dadurch waren in der Vergangenheit Gitterspektrographen sehr unempfindlich.<sup>246</sup>

Das Blazegitter löst dieses Problem.<sup>247</sup> Es basiert auf einem holographischen Herstellungsverfahren und teilt das Licht zum größten Teil in nur zwei Spektren 1. Ordnung.<sup>248</sup>

Das Resultat: Ein einzelnes Spektrum ist weitestgehend linear und vergleichsweise stark.<sup>249</sup>

Der von Michael Schauffert konstruierte optische Vorsatz für eine Fotokamera basiert in seinem Grundaufbau auf einem hilfreichen Leserkommentar aus einem Sonderdruck der Zeitschrift "Sterne und Weltraum", Heft 11/1989.

*Zitat: "Damit sind die Anwendungsmöglichkeiten (des Blaze-Gitters, Anm.) aber noch nicht erschöpft. Man nehme eine Pappröhre 50 cm lang und 3 cm Durchmesser (ca.), befestige vorne einen ca. 0,2 mm breiten Spalt aus zwei Rasierklingen und am hinteren Ende das Gitter. Fertig ist das Handspektroskop. Gegen den hellen Taghimmel gerichtet, werden eine ganze Menge Fraunhofer-Linien des Sonnenspektrums sichtbar. (Geht auch bei bedecktem Himmel!) Interessant ist auch die Untersuchung verschiedener Lichtquellen, wie z. B. Leuchtstoffröhren, Na-Dampflampen, Glühlampen, Leuchtdioden usw. usw.*

H. Ebert

Org.-/chemisches Institut

der TU/München<sup>250</sup>

Michael Schauffert kombinierte diesen Vorsatz mit einem passenden Adaptersystem für seine digitale Fotokamera, der Olympus EP-1.

---

245 Vgl. <http://www.tls-tautenburg.de/research/artie/lectures/spektroskopie.pdf>, letzter Abruf 5.12.2011

246 ebd.

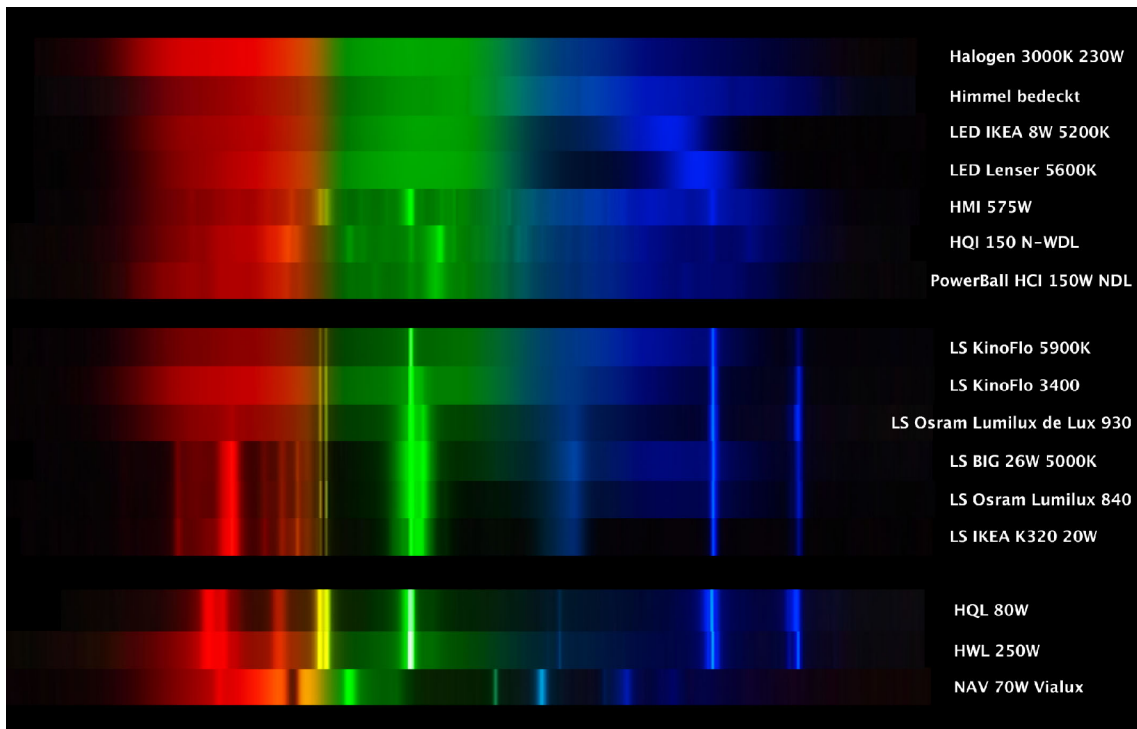
247 Zimmermann, O., *Sternspektrographie in der Schule*, Sonderdruck 11/1989, S. 1 f.

248 ebd.

249 ebd.

250 Zimmermann, O., *Sternspektrographie in der Schule*, Sonderdruck 11/1989, S. 4

Mit ein paar zusätzlichen Aufbereitungsschritten in einem Bildbearbeitungsprogramm lassen sich damit aussagekräftige und präzise Farbspektren erstellen, wie die folgende Übersicht von Spektren anschaulich zeigt.



**Abbildung 17: Aufbereitete Spektralaufnahmen unterschiedlicher Lichtquellen, Quelle: Michael Schauffert**

Die Auflösung der Aufnahmen ist durch den sehr schmalen Kollimator erstaunlich hoch: Im Spektrum des natürlichen Tageslichts lassen sich sogar die feinen Fraunhofer-Linien erkennen. Sie entstehen durch chemische Elemente, die in der Sonnenatmosphäre vorkommen und Teile des Spektrums des Sonnenlichts absorbieren.<sup>251</sup>

Das Erzielen von Ergebnissen mit dem Selbstbau-Spektrometer ist verhältnismäßig leicht – gute Resultate erfordern jedoch eine präzise Arbeitsweise bei Aufnahme und Nachbearbeitung. Die einzelnen Schritte zum fertigen Vergleichsbild sind im Folgenden aufgelistet.

<sup>251</sup> Vgl. <http://de.wikipedia.org/wiki/Fraunhoferlinie>, letzter Abruf 6.12.2011

#### 4.4.2.1.1 Aufnahmen der Spektralfotografien

1. Die zu fotografierende Lichtquelle wird (falls es sich nicht um eine bereits perfekt weiche Lichtquelle handelt, wie z.B. Eine Leuchte mit vorgebauter Chimer) durch einen Diffusor geschickt und die Kamera mit Vorsatz auf den Diffusor ausgerichtet. Im Falle von Multifarb-LED-Leuchten ist es sinnvoll, das Licht über eine neutralweiße Fläche diffus zu reflektieren und die Kamera auf diese auszurichten. Auf diese Art wird das Licht der verschiedenfarbigen LEDs ausreichend vermischt.
2. Kameraeinstellungen:
  - a) die Kamera steht auf einem festen Weißabgleich – in diesem Fall Tageslichttemperatur mit 5600°Kelvin.
  - b) der manuelle (!) Fokus wird auf das direkt eintretende Licht des Kollimators gelegt.

Wichtig für saubere, rauschfreie Aufnahmen: Die Blende sollte recht weit geöffnet sein, eine niedrige ISO-Zahl von 100-200 vermeidet Bildrauschen.
  - c) für beste Ergebnisse sollte an der Kamera das höchstqualitative Format und die größtmögliche Auflösung eingestellt sein, dazu ein möglichst neutrales Bildprofil. Elektronische Nachschärfungen sollten ausgeschaltet sein.
  - d) um eine ausreichende Belichtung zu erreichen, wird mittels Langzeitbelichtung fotografiert. Zusätzlich lässt sich bei vielen Modellen, wie der verwendeten Olympus EP-1, eine Rauschunterdrückung bei Langzeitbelichtungen einstellen. Oft befindet sich diese Funktion auf etwas tieferen Menüebenen, wie z. B. Bei der Canon EOS 5D MK2. Dabei fotografiert die Kamera direkt im Anschluss an die Langzeitbelichtung automatisch ein weiteres Foto mit geschlossener Blende und derselben Belichtungszeit. Dieses dient dazu, das Sensorrauschen aufzuzeichnen und anschließend von der eigentlichen Aufnahme zu subtrahieren. Das Ergebnis ist ein sichtbar rauschärmeres Bild.
3. Testbelichtungen werden aufgenommen. Die Belichtung wird dabei über die Länge der Belichtungszeit variiert. Bei unseren Tests lag diese, je nach Leuch-

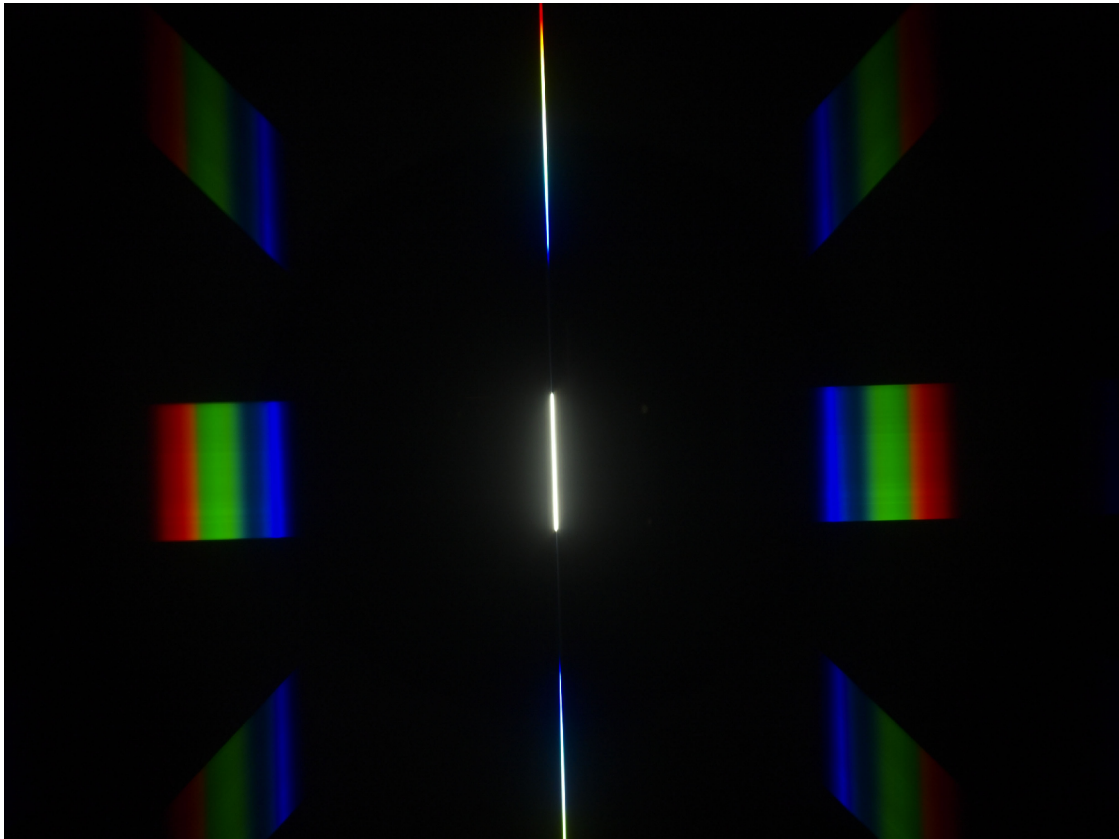
te, bei ca. 8-15 Sekunden. Wichtig ist dabei für akkurate Ergebnisse zum einen Überbelichtungen zu vermeiden und auf der anderen Seite den Belichtungsspielraum der Kamera nach oben hin möglichst auszunutzen; Überbelichtungen können zu verfälschten Ergebnissen durch "Abschneiden" der Spitzen eines Spektrums führen, bei Unterbelichtungen kann eigentlich vorhandenes Licht in weniger ausgeprägten Spektralbereichen leicht im Schwarz "absaufen". Das Histogramm der Kamera kann dabei gut behilflich sein, im besten Fall im RGB-Modus (falls vorhanden).

4. Aufnahme des Spektrums. Zur Sicherheit sollte auch dabei eine Belichtungsreihe mit mehreren leicht variierender Belichtungszeiten gemacht werden. Bei mehreren Leuchten sollten unbedingt separat Bildnummer und die Bezeichnung der getesteten Leuchte notiert werden.

5. Aufnahme einer Kalibrierungsleuchte:

Um eine Vergleichbarkeit der Aufnahmen sicherzustellen, die Möglichkeit zu haben, Wellenlängenbereiche in absoluten Zahlen zu benennen und Fehler auszuschließen, sollte bei jeder Fotoserie das Spektrum einer Referenzleuchte mit aufgenommen werden.

Dabei empfiehlt sich eine Leuchte mit mehreren schmalen, deutlichen Spitzen im Spektrum. In unserem Fall ist dies die Osram Lumilux 840. Sie ist ein gut verfügbares Standardmodell mit sehr spitzenhaftem, klar definierten Spektrum. Diese Leuchte gibt es auch als Energiesparlampe für einen Standard-E27-Sockel, wodurch sie sich auch für Tests außer Haus praktisch mitnehmen lässt. Im Folgenden findet sich ein resultierendes Beispielbild der TecPro Felloni ohne weitere Nachbearbeitung.



**Abbildung 18:** Spektralaufnahme der TecPro Felloni ohne Nachbearbeitung, Grafik: Der Verfasser

#### 4.4.2.1.2 Nachbearbeitung/Aufbereitung der Spektralaufnahmen

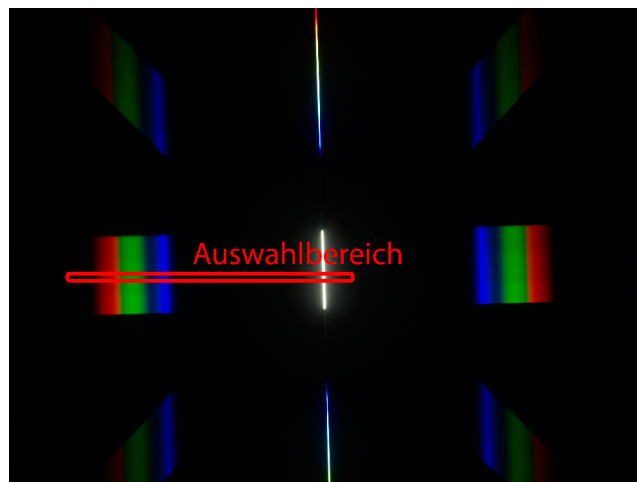
Die Nachbearbeitung kann mit vielen üblichen Bildbearbeitungsprogrammen erfolgen. In diesem Beispiel wurde mit Adobe Photoshop gearbeitet. Andere Programme, wie z.B. Paint Shop Pro eignen sich aber prinzipiell genauso. Die Anleitung sollte, leicht abgewandelt, auch damit gut durchzuführen sein.

1. Öffnen der Datei, wichtig bei RAW-Formaten: Es sollten möglichst neutrale Einstellungen gewählt werden, die bei allen Bildern der Serie gleich sind. Tiefer gehende Eingriffe, wie z.B. Nachschärfung oder Farbkorrekturen sind zu vermeiden.
2. Das linke Spektrum wird nun in der Breite bis zu dem durch den Kollimator einfallenden (weißen) Licht freigestellt. Wichtig: Die weiße Linie des Kollimators darf nicht entfernt werden! Sie dient später als Referenz beim Anordnen ver-

schiedener Spektren.

Man benutzt dazu das Auswahlrechteck-Werkzeug aus der Werkzeugleiste. Die Höhe der Auswahl sollte wenige Pixel betragen (ca. 5-10), die Auswahl in der Vertikalen an einer deutlichen, repräsentativen Stelle der Aufnahme angesetzt werden (siehe Abbildung).

Anschließend wird über "Bild->Freistellen" das Bild auf den Auswahlbereich reduziert.



**Abbildung 19: Auswahlbereich innerhalb einer Spektralfotografie, Grafik: Der Verfasser**

3. Um nun das Spektrum vertikal gleichmäßig zu bekommen, wird das Bild zunächst einmal in der Höhe herunterskaliert, Befehl: "Bild->Bildgröße". Anschließend muss das Häkchen bei "Proportionen beibehalten" entfernt werden. Bei den Größenangaben wird die Höhe auf 1 Pixel reduziert, die Breite beibehalten. Das Resultat ist ein Spektrum, das in der Vertikalen aus dem Durchschnittswert der ursprünglichen 5-10 Pixeln Höhe besteht. Dadurch werden leichte Unsauberkeiten des Kamerasensors oder ihrer internen Bildverarbeitung minimiert.
4. Anschließend wird das Bild in der Vertikalen wieder hochskaliert, um das Spektrum besser erkennbar zu machen. Dazu wird wieder der Befehl "Bild->Bildgröße" angewählt und die Höhe auf 30 Pixel (in unserem Beispiel) erhöht. Die Breite muss dabei selbstverständlich wieder beibehalten werden.

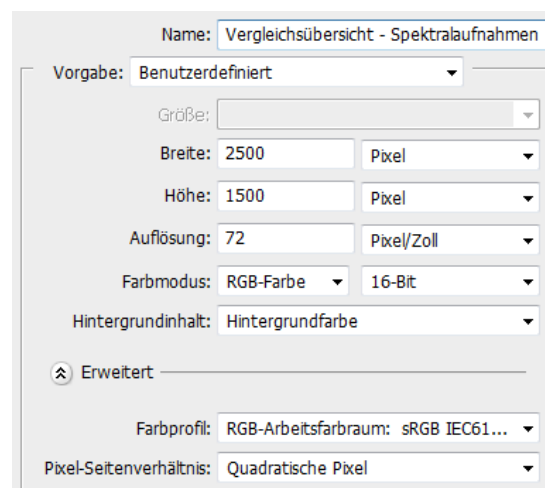
Nun hat man ein einzelnes Spektrum. Im Beispiel der Tecpro Felloni sieht das



**Abbildung 20: aufbereitete Spektralaufnahme der TecPro Felloni, Grafik: Der Verfasser**

Ergebnis wie folgt aus:

- Die einzelnen Spektren sollten in einem unkomprimierten Format, wie zum Beispiel PSD oder TIFF, gespeichert werden.



**Abbildung 21: Einstellungen für ein das neue Dokument in Adobe Photoshop. Grafik: Der Verfasser**

- Wenn alle Spektren angefertigt sind, kann man sie in einer Übersicht gegeneinanderstellen.

Dazu setzt man zunächst einmal die Hintergrundfarbe auf Schwarz. Unten in der Werkzeugleiste finden sich zwei Farbauswahlfelder. Man wählt dabei das untere von beiden aus (*Hintergrundfarbe*) und setzt in der Farbauswahl die Farbe auf Tiefschwarz (R:0, G:0, B:0).<sup>252</sup>

- Jetzt erstellt man ein neues Dokument mit schwarzem Hintergrund. Der Befehl: "Datei->Neu" öffnet das in der Abbildung gezeigte Dialogfeld. Die

<sup>252</sup> Abk. für „Rot/Grün/Blau“, siehe „additive Farbmischung“ (Kapitel 2.3 in dieser Arbeit)



Größe des Bildes wählt man erst einmal recht großzügig. In diesem Fall sind die einzelnen Spektren ca. 1700 Pixel breit und 30 Pixel hoch; 2500x1500 Pixel schaffen genug Platz zum problemlosen Arbeiten - zuschneiden kann man das Bild später noch. "Hintergrundinhalt" wird jetzt auf "Hintergrundfarbe" gestellt, also schwarz.

Der Farbmodus sollte nicht unterhalb der Qualität der einzelnen Spektren liegen – im Zweifel sind 16 Bit<sup>253</sup> Farbtiefe ein guter Mittelwert. Bei der Beschriftung der Dateien zählt sich Sorgfalt aus; später verliert man ansonsten leicht die Übersicht.

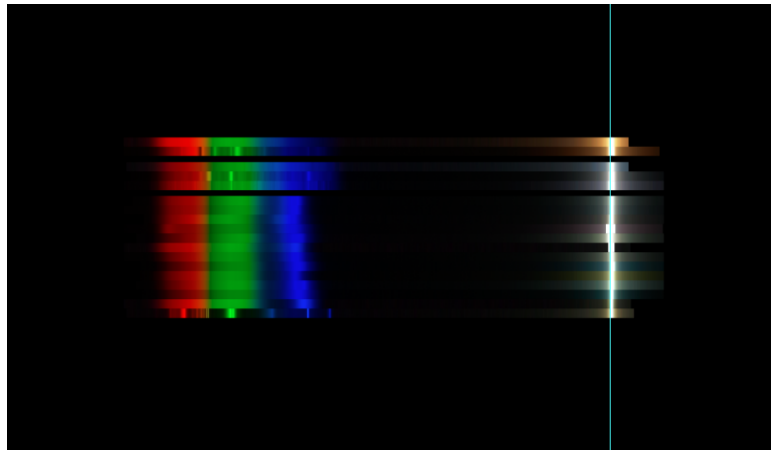
8. Jetzt richtet man zunächst ein Lineal ein um die Spektren gleichmäßig übereinander anzuordnen. Der Befehl "Ansicht->Lineal" öffnet horizontale und vertikale Lineale neben dem Dokument. Durch Klicken und Ziehen auf das vertikale Lineal kann man nun eine Hilfslinie in das Dokument bringen. Diese ordnet man am besten ca. auf 1/3 Abstand zum rechten Bildrand an.
9. Aus dem Explorer heraus ziehen wir jetzt über Drag and Drop die Datei des Spektrums der Referenzleuchte in das Dokument. Mit der Maus und Cursor rechts, bzw. Cursor links, können wir die weiße Linie auf der rechten Seiten der Spektrums (Kollimator) an der Hilfslinie ausrichten. Diese Linie wird in der Regel breiter als die Hilfslinie sein. Korrekt angeordnet wird das Spektrum indem man darauf achtet, es so zu platzieren, dass die Hilfslinie möglichst mittig auf der Kolimatorlinie steht.  
Mit der Eingabetaste wird die Anordnung anschließend bestätigt.
10. Das wiederholt man jetzt mit allen Spektren und ordnet sie untereinander an.
11. Durch Anwählen der einzelnen Ebenen und anschließendem Schieben in der Vertikalen über Cursor-Hoch und Cursor-Runter kann man jetzt noch die Anordnung etwas überarbeiten.

---

253 Erklärung: 16 Bittiefe pro Farbkanal. Also RGB=65.536 Farbabstufungen\*3=ca. 196 Mio. Farben

12. Falls nötig, kann man jetzt noch über das Anwählen der einzelnen Ebenen und den Befehl Bild->Tonwertkorrektur die Intensitäten der einzelnen Spektren etwas angleichen. Dabei sollte in der Tonwertspreizung nur vorsichtig (!) an der Intensität (der rechte der drei Einstellpunkte unter dem Histogramm) gearbeitet werden.

An diesem Punkt müsste das Bild in etwa so aussehen:



**Abbildung 22: Spektralvergleich kurz vor der Fertigstellung,**  
**Grafik: Der Verfasser**

13. Jetzt fügt man über das Textwerkzeug Beschriftungen für die jeweiligen Spektren hinzu.
14. An diesem Punkt ist das Vergleichsbild fast fertig und kann zunächst mal als Photoshop-Dokument mit Ebenen gespeichert werden (um zu einem späteren Zeitpunkt noch weitere Spektren hinzufügen zu können).
15. Der Kolimator wird jetzt nicht mehr gebraucht und das Bild kann durch das Auswahlwerkzeug und den Befehl "Bild->Freistellen" auf die Spektren und die Beschriftungen begrenzt werden. Zusätzlich kann die Hilfslinie durch Anklicken und einen Druck auf die Entfernen-Taste gelöscht werden.
16. Abspeichern in einem Format der Wahl und das Vergleichsbild ist fertig.

### 4.4.3 Versuchsanordnung Test 2: Vergleichsfotografien

Der für diesen Test durchgeführte Versuchsaufbau findet in einer kontrollierten Studio-situation statt. Vor einem neutralschwarzen Fotohintergrund wird eine genormte Macbeth-Farbtafel aufgenommen, zusätzlich ein junges Exemplar eines weiblichen Homo Sapiens mit dem Namen Julia und viel Geduld.

Die verwendete Kamera ist mit der Canon EOS400D eine typische digitale Spiegelreflexkamera der Einstiegsklasse. Ihr Vorteil ist zum einen die Möglichkeit der Aufnahme im unkomprimierten RAW-Format<sup>254</sup>, zum anderen die einfache Tatsache, dass der Autor und Testfotograf mit Canon-Kameras generell gut vertraut ist.

Die Testaufnahmen wurden alle mit höchstmöglicher Qualität im RAW-Format aufgenommen bei einer niedrigen ISO-Zahl von 200<sup>255</sup>.

Das RAW-Format ist bei Fotokameras sehr beliebt, da bei diesem die Bilddaten des Kamerasensors direkt vor sämtlichen Eingriffen der Signalverarbeitung der Kamera abgegriffen und gespeichert werden - also vor Weißabgleich, Kontrasteinstellungen, Nachschärfungen, Rauschunterdrückung und Weiterem. Diese Parameter können anschließend nachträglich nach dem Öffnen der Datei in einem Bildbearbeitungsprogramm frei eingestellt werden und sind nicht, wie beispielsweise beim JPG-Format<sup>256</sup>, nach der Aufnahme bereits fest in das Bild "eingebrannt".

Wichtig bei diesem Test war es dabei, absolut gleichbleibende Parameter auf alle Bilder gleichermaßen anzuwenden, um eine Vergleichbarkeit zu gewährleisten. Dabei war der Weißabgleich fest auf 5600°Kelvin eingestellt, alle weiteren Parameter (Kontrast, Sättigung und besonders Farbkorrekturen) komplett auf neutrale Werte gesetzt. Der einzige "künstliche" Eingriff war eine leichte Rauschunterdrückung, die das ohnehin sehr niedrige Bildrauschen durch die ISO-Zahl von 200 weitestgehend eliminiert – ohne dabei die Ergebnisse zu verfälschen.

Bei dieser Testreihe war der Fokus eher auf geringes Bildrauschen bei den Aufnahmen

---

254 Vgl. <http://www.dpreview.com/reviews/canoneos400d/>, letzter Aufruf 6.12.2011

255 Erklärung: Bei digitalen Kameras der Einstellwert der Empfindlichkeit. Je geringer, desto weniger Rauschen findet sich im Bild.

256 Erklärung: Digitales komprimiertes Bildformat

gesetzt als auf perfekte Bildschärfe.

Um bei der niedrigen ISO-Zahl auch bei verhältnismäßig leistungsschwachen Leuchten eine ordentliche Belichtung zu erreichen, mussten teilweise recht hohe Belichtungszeiten von bis zu 1/10 Sekunde gewählt werden. Bei der statischen Farbtafel ist das kein Problem, bei der Testperson hingegen entstanden dadurch trotz großer Anstrengungen der perfekten Ruhe der Farbtafel gleichzuziehen bei einigen Aufnahmen Bewegungsunschärfen, z.B. durch Blinzeln.

Da es bei diesen Aufnahmen auf die Farbigkeit ankommt, das aber zugunsten einer niedrigen ISO-Zahl und geringem Bildrauschen bewusst in Kauf genommen. Durch Abgleichen der Belichtung über die Histogrammfunktion der Kamera konnten eventuell verfälschende Nachbearbeitungen vermieden werden.

Ein wichtiger Punkt bei der Betrachtung der Ergebnisse dieses Tests sollte unbedingt beachtet werden:

Die Resultate stellen **kein** abschließendes Urteil über die Qualität der einzelnen Leuchten dar. Jedes Filmmaterial und jeder elektronische Sensor besitzt andere spektrale Empfindlichkeitskurven<sup>257</sup>. Kein Sensor und kein Filmmaterial gibt das gesamte Spektrum des Lichts wieder, selbst bei absoluten High-End-Kameras<sup>258</sup>.

Dementsprechend können Resultate mit anderen Kameras in derselben Situation unterschiedlich ausfallen. Von daher stellt dieser Test mit einer Kamera ein eines von vielen möglichen Szenarien in der Praxis dar.

#### **4.4.3.1 Testaufbau 1: Einzelportraits (Eine Leuchte pro Bild)<sup>259</sup>**

In diesem Test wird jedes Testmotiv vollständig alleine mit einer der LED-Lampen oder der HMI-Leuchte beleuchtet.

Das Licht ist dabei so gesetzt, wie es normalerweise für eine ästhetische Bildgestaltung und gute Plastizität eher vermieden wird: möglichst aus der Nähe der Kameraachse. Um die verschiedenen großen Lichtquellen zugunsten eines konstanteren Eindrucks der Bilderserie in ihrer Lichtqualität ein wenig anzugleichen, wird das Licht aller Lampen durch einen neutralen Diffusor mit ca. 40X40cm Größe gegeben. Alle dimmbaren

---

<sup>257</sup> Siehe Kapitel 2.3

<sup>258</sup> Shevell, Steven K., Brian A. Wandell, Silverstein, L., *The Science of Color* (zweite Ausgabe), S. 288

<sup>259</sup> Siehe Fotoseiten 3 & 4

Lampen sind auf 100% Intensität gestellt; die Belichtung wird ausschließlich über die Belichtungszeit variiert. Die ARRI LoCaster ist die einzige Leuchte in diesem Test mit elektronisch variierbarer Farbtemperatur. Diese wurde hierbei fest auf 5600°Kelvin eingestellt.

#### **4.4.3.2 Testaufbau 2: Vergleichsportraits (Zwei Leuchten pro Bild)<sup>260</sup>**

Um die unmittelbare Wirkung auf Hauttöne zu vergleichen, wird in diesem Testszenario die Testperson auf jeder Gesichtshälfte mit einer Lampe beleuchtet. Die Lampen stehen ca. im 90° Winkel auf beiden Seite zu der Protagonistin. Dabei wurde durch Ausschalten der jeweils anderen Leuchte genau geprüft, dass wirklich nur eine Gesichtshälfte getroffen wird und keine verfälschenden Mischlichtsituationen durch falsche Anordnung entstehen. Die unterschiedlichen Intensitäten der Leuchten wurden ausschließlich durch Anpassung ihrer jeweiligen Entfernungen zu der Protagonistin angeglichen, bei der HMI zusätzlich durch den Flood-/Spotregler des optischen Systems der Leuchte. Keine der Leuchten wurde gedimmt.<sup>261</sup>

---

<sup>260</sup> Siehe Fotoseite 5

<sup>261</sup> Erklärung: Dies könnte unter Umständen zur Farbverschiebungen führen

#### 4.4.4 Test 1: Ergebnisse der Spektralfotografie

Nach ausführlicher Besprechung der Versuchsanordnungen sind hier nun die grafischen Ergebnisse der Spektren der Testleuchten.

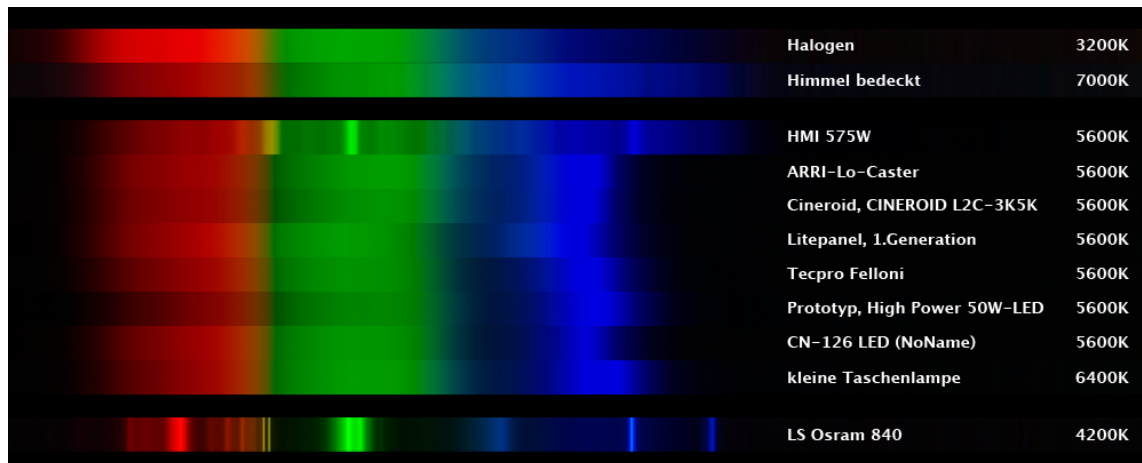


Abbildung 23: Spektren der getesteten Leuchten in der Übersicht. Grafik: Der Verfasser

Als Referenz dienen drei Lichtquellen die nicht auf LED basieren: das sehr kontinuierliche Lichtspektrum einer Halogenleuchte, natürliches Tageslicht bei bedecktem Himmel und die HMI-Leuchte der 575-Watt-Kategorie. Zusätzlich ist unten das sehr diskontinuierliche Spektrum der Referenz-/Kalibrierungsleuchte Osram 840<sup>262</sup>. Interessant ist auch die handelsübliche LED-Taschenlampe die in diesem Test gegen die meist teuren Speziallampen antritt.

##### 4.4.4.1 Allgemeine Beobachtungen

Wie zu erkennen ist, hat LED-Licht grundsätzlich kaum ausgeprägte Spitzen im Gegensatz zu der HMI-Lampe. Das Spektrum ist verhältnismäßig gleichmäßig, besitzt aber bei allen Modellen ähnlich ausgeprägte Probleme im Bereich der kurzen Wellenlängenbereiche im Blaubereich (rechts im Spektrum).

Dazu gibt es ein deutliches "Tal" im Grenzbereich zwischen Grün und Blau. Dieses fällt bei einigen Modellen stärker, bei anderen Schwächer aus, konnte aber bei keinem vollständig gelöst werden. Um dennoch trotz der Täler im Blaubereich eine Farbtempera-

<sup>262</sup> Erklärung: Handelsübliches Leuchtstofflampenmodell der Firma Osram

tur von 5000°Kelvin aufwärts zu erreichen, werden dafür Bereiche im mittleren Blau umso stärker wiedergegeben.

In Kapitel 4.3 dieser Arbeit sprach Dedo Weigert von grundlegenden Problemen von derzeitigen LED-Leuchtmitteln im tiefen Rotbereich, der sich durch den R9-Index<sup>263</sup> erfassen lässt.

Diese Schwierigkeiten sind anhand der Spektren klar zu erkennen: Keine der LED-Leuchten kommt annähernd weit in den langwelligen Rotbereich (auf dem linken Rand der Spektren) wie eine Halogenleuchte oder natürliches Tageslicht. Allerdings: Die HMI-Leuchte in diesem Test erreicht diese Bereiche ihrem Spektrum nach auch nicht wesentlich besser.

#### 4.4.4.2 Ergebnisse der einzelnen Leuchten

Im Gegensatz zu den von den Spitzen geprägten Spektren von HMIs und Leuchtstoffröhren fallen die Unterschiede unter den LED-Leuchten weniger offensichtlich aus.

- Unter den Filmleuchten besitzen der ARRI LoCaster und die Cineroid-LED-Leuchte auffällig ähnliche Spektren.

Der LoCaster geht etwas tiefer in die kurzwelligen Blaubereiche und in die langwelligen Bereiche am unteren Ende des Spektrums in das tiefe Rot – ansonsten sind kaum Unterschiede auszumachen. Beide scheinen als recht neue Modelle von den Fortschritten der LED-Technik der letzten Jahre zu profitieren: Die typische Blau-Grün-Lücke fällt deutlich weniger tief aus als bei allen weiteren LED-Leuchten dieses Tests.

- Das Litepanel MiniPlus scheint dagegen seinem Spektrum nach Schwierigkeiten in den kurzwelligen Blaubereichen zu haben: Das Spektrum ist kürzer, eine mittelgroße Lücke im Blaugrün ist deutlich vorhanden.
- Die Tecpro Felloni geht tiefer bis in die problematischen Blaubereiche als alle anderen untersuchten Filmleuchten, hat dafür aber ein breites und tiefes Tal im

---

<sup>263</sup> Siehe Kapitel 2.1 in dieser Arbeit

Bereich der Blaugrüntöne.

- Die Nanguang CN-126 besitzt zwar ein Spektrum, das bis tief in die kurzwelligen roten Bereiche vordringt, jedoch große Probleme im Blau zu besitzen scheint. Das Blau beschränkt sich größtenteils auf einen sehr schmalen Bereich, der zudem kaum in die sehr kurzen Wellenlängen vordringt; zusätzlich existiert ein deutliches und breites Tal im Blaugrün.
- Überraschend ist der Prototyp der High Power 50W-LED-Leuchte in ihrer spektralen Wiedergabe: Sie dringt von allen untersuchten LED-Lampen am stärksten in die tiefen Blaubereiche vor, das Rot fällt jedoch umso schwächer aus – das erklärt die hohe Farbtemperatur.
- Die typische LED-Taschenlampe dringt zwar nicht so stark in die problematischen Rotbereiche am unteren Ende des Spektrums vor, hat ansonsten aber eine gleichmäßig erscheinende Wiedergabe der Grüntöne und gibt Bereiche im Blau bis in die oberen Teile des Spektrums wieder. Dafür existiert auch hier eine breite und deutliche Lücke im Blaugrün.

Die Spektralanalyse zeigt somit erkennbare Unterschiede der Leuchten untereinander die jedoch einigen Fällen (z.B. ARRI LoCaster und Cineroid-LED-Light) eher gering ausfallen. Die brennende Frage ist, inwiefern sich die Ergebnisse dieses Tests in dem widerspiegeln, worauf es tatsächlich ankommt: im Bild einer Kamera. Das zeigt sich nun im zweiten Teil des Test bei den Testfotografien.



## 4.4.5 Test 2: Ergebnisse der Vergleichsfotografien

### 4.4.5.1 Auswertung: Einzelportraits, Preset 5600°Kelvin

**Die hier besprochenen Bilder befinden sich auf Fotoseite 3**

Bei einem festen Weißabgleich auf Tageslichttemperatur von 5600°Kelvin werden die Unterschiede zwischen den Leuchten sehr deutlich. Diese fallen zwischen den teuren Modellen der dezidierten Videoleuchten (ARRI LoCaster, Cineroid LED-Light, Lightpanels MiniPlus und TecPro Felloni) geringer aus als bei dem Prototypen der 50-Watt-Leuchte und der Nanguang CN-126.

Die HMI-Leuchte besitzt einen etwas älteren Brenner. Die Farbigkeit von HMI-Leuchten kann je nach Alter des Brenners, Leistungsklasse und Einstellung am Dimmer recht stark variieren.<sup>264</sup> Die Testlampe ist nicht gedimmt – der ältere Brenner wird höchstwahrscheinlich der Grund für ihren Blau-Grün-Stich sein.

- Leuchten 1-3 zeichnen ein sehr recht ähnliches Bild. Die Leuchte 3 wirkt in ihrer generellen Farbigkeit ein wenig wärmer. Bei genauerem Hinsehen fallen jedoch weitere Unterschiede auf: Leuchte 1 gibt die Hauttöne unseres Testmodells sehr natürlich und differenziert wieder; genaue Abstufungen in den Farben sind erkennbar. Die Haarfarbe wird sehr natürlich wiedergegeben und ist frei von unnatürlichen Grünanteilen.
- Bei Leuchte 2 werden die Hauttöne ein wenig undifferenzierter und künstlicher wiedergegeben; natürlich rötliche Partien kippen ein wenig in Richtung Orange, die Haarfarbe wirkt etwas gelbgrünlicher. Insgesamt fallen die Unterschiede jedoch recht klein aus.

---

<sup>264</sup> Eigene Erfahrung des Autors, belegt durch zahlreiche Gespräche mit Experten (z.B. Oberbeleuchtern)

- 
- Bei der Litepanels MiniPlus (Leuchte 3) wirken die Gesichtstöne leicht magentafarben und weniger differenziert – alles wirkt ein wenig eingefärbt, die Augenfarbe kommt weniger zur Geltung. Sehr auffällig ist ein Blick auf die Farbe des Pullovers: Gerade im Vergleich zu Leuchte 1 hat sich der Ton drastisch verändert. Aus einem tiefen Blau ist bei Leuchte 3 ein dunkleres Blau-Magenta geworden. Zwischen Leuchte 1 und 3 liegen etliche Jahre in der Entwicklung, zudem ist Blau eine der typischen Problemfarben von LEDs. Vermutlich ist hier die Entwicklung weiter vorangeschritten.
  - Leuchte 4 besitzt insgesamt eine auffällig kühle Farbwiedergabe. Die Gesichtsfarbe wirkt deutlich blasser und etwas kränklich. Die Farbe der Lippen ist deutlich entsättigt, zudem wirkt die Haarfarbe unnatürlich kühl und grün. Blaubereiche hingegen werden recht gut wiedergegeben – die Augenfarbe trennt sich deutlich und auch der Pullover besitzt eine verhältnismäßig neutrale und strahlende Farbe.
  - Leuchte 5 ist nicht für den Einsatz im Film- und Fernsehbereich optimiert worden; ihr Licht besitzt eine sichtlich überhöhte Kelvin-Zahl und ist sehr kühl. Ein direkter Vergleich ist zunächst somit nicht machbar, wird jedoch durch den in Test 2 des Einzelvergleichs mittels elektronischem White Balance ermöglicht.
  - Ein absolut deutlicher Farbstich zeigt sich bei Leuchte 6. Ihr Licht besitzt einen heftigen Grünstich, der vermutlich auch bei weniger farbkritischen Anwendungen kaum zu tolerieren ist. Die vom Hersteller angegebene Tageslichttemperatur wird weit verfehlt – es ist davon auszugehen, dass sich dieser radikale Farbstich auch bei anderen Kameras ausgeprägt zeigt. Ob man das Interview mit einem Hollywood-Prominenten mit dieser Leuchte als Kopflicht ausleuchtet, sollte man sich darum vielleicht nochmal überlegen.

#### 4.4.5.2 Auswertung: Einzelportraits, manueller Weißabgleich

Die hier besprochenen Bilder befinden sich auf Fotoseite 4

Für den zweiten Teil dieser Versuchsreihe wurde bei jedem der Bilder ein Weißabgleich auf das farbneutrale 50%-Grau-Feld der Farbtesttafel durchgeführt. Dieser wurde bereits im "Camera Raw"-Importtool des Bildbearbeitungsprogramms mithilfe des Weißabgleich-Werkzeugs durchgeführt und ist somit frei von möglichen Fehlern durch Bildartefakte oder Ähnlichem.

Auf den ersten Blick bereits offenbart sich, dass Dedo Weigert mit seiner Empfehlung, bei LED-Leuchten mit der "Magie des White Balance" zu arbeiten, offensichtlich Recht behält: Die Unterschiede fallen deutlich geringer aus.

Dieser Trick funktioniert allerdings nur erfolgreich, so lange man mit **einer** Sorte von Lampen sein gesamtes Motiv ausleuchtet.

- Leuchte 1 zeichnet auch dabei wieder ein sehr natürliches Bild: Rottöne in der Gesichtsfarbe werden differenziert wiedergegeben, die Haarfarbe wirkt natürlich und unverfälscht.
- Ähnlich verhält es sich mit Leuchte 2. Zwar kippt bei ihrem Licht die Haarfarbe ein wenig ins Grünliche – dies hält sich aber in engen Grenzen. Ansonsten gibt sie die Farben unseres Testmotivs gut wieder, allerdings bis auf die Ausnahme Tiefblau. Die Farbe des Pullovers wirkt zu dunkel und magentafarben.
- Leuchte 3 zeichnet die Gesichtsfarbe sichtbar schlechter; die Hautfarbe wirkt fahl und etwas leblos, Rottöne kommen schlechter zur Geltung. Sehr auffällig ist hier jedoch die Haarfarbe: Diese besitzt kaum noch Strahlkraft und ist von einem deutlichen Farbstich in Richtung Blaugrün geprägt. Der unnatürlich dunkle Farbton des Pullovers ist bei ihr auch durch den Weißabgleich nicht beseitigt worden.
- Dieses Problem ist bei Leuchte 4 geringer. Ansonsten zeichnet sie jedoch sehr blasse Hauttöne und eine grünlich verfälschte Haarfarbe.

- Bei den Lampen 5 und 6 zeigt der Weißabgleich besonders deutliche Wirkung: Im Gegensatz zu den unkorrigierten Aufnahmen zeichnen beide nun viel neutraler. Allerdings leiden beide unter Defiziten im Rotbereich, welche die Gesichtsfarbe insgesamt sehr blass wirken und viele Nuancen verschwinden lassen.
- Bei Leuchte 6 macht sich zudem am stärksten ein Kippen der Haarfarbe bemerkbar. Diese wirkt sehr grün und unnatürlich.  
Die HMI-Leuchte schneidet in diesem Vergleich allerdings kaum besser ab. Der ältere Brenner zeichnet eine unangenehm blasse Gesichtsfarbe, wie auch Haarfarbe. Interessant dabei ist die Farbe des Pullovers: Trotz des breiteren Spektrums im Blaubereich als alle getesteten LED-Leuchten kommt das tiefe Blau nicht zur Geltung.

Als Fazit des ersten Praxistests sieht der Autor eindeutig die besten Ergebnisse bei Leuchte 1. Bereits ohne Weißabgleich wirkten die Ergebnisse sehr natürlich, nuanciert. Auf der Macbeth-Tafel und dem Pullover kamen auch sonst problematisch Blautöne sehr gut zur Geltung. Dies ist nicht sehr überraschend, wo es sich um das neueste und deutlich teuerste Modell im Test handelt.

Eher überraschend ist hingegen das sehr schlechte Abschneiden der HMI-Leuchte: Sowohl mit als auch ohne Weißabgleich wirkten die gezeichneten Farben blass und leblos. Es zeigt sich, dass gute Farbwiedergabe bei Halogenmetall dampflampen maßgeblich mit dem Zustand des Brenners steht und fällt.

Die Leuchten 3 und 4 liegen bei diesem Test im Mittelfeld; allerdings muss der Fairness halber angemerkt werden, dass das Litepanels MiniPlus ein Modell aus dem Jahr 2005<sup>265</sup> und somit natürlich bei der schnellen Entwicklung der LED-Technologie bereits überholt ist. Die Tekpro Felloni hingegen hat laut den "harten" Zahlen einen CRI von 84<sup>266</sup> und müsste von der Qualität ihrer Farbwiedergabe theoretisch höher als die Lite-

---

<sup>265</sup> Vgl. <http://www.litepanels.com/language/pages/miniplus.php>, letzter Aufruf 3.12.2011

<sup>266</sup> Vgl. Interview Dedo Weigert, Kapitel 4.3

panels MiniPlus liegen. Der Autor hat bei einem Projekt in der Praxis mit einer anderen Kamera hingegen gute Ergebnisse mit der Tecpro Felloni erzielt. Daher liegt die Vermutung nahe, dass gerade bei den Leuchten 2-4 die Resultate mit anderen Kameras deutlich anders ausfallen könnten.

### 4.4.5.3 Auswertung: Vergleichsportraits

**Die hier besprochenen Bilder befinden sich auf Fotoseite 5**

Nach den Ergebnissen des ersten Tests wurde für diesen Vergleich den ARRI LoCaster als Referenzleuchte eingesetzt. Der LoCaster beleuchtet bei allen Vergleichsfotos die rechte Gesichtshälfte.

Bei einem Blick auf die Ergebnisse wird deutlich: Hunderprozentig trifft sich der Farbeindruck von zwei Leuchten unterschiedlichen Typs in keinem der Fälle - die Abweichungen fallen jedoch unterschiedlich groß aus.

- Das Litepanels MiniPlus zeichnet ein bisschen mehr magentafarben, die Cine-roid wirkt im Gegensatz zur Referenz ein wenig kühler. Die Unterschiede sind sichtbar, fallen aber nicht sehr groß aus.
- Dagegen ist bei der Nanguang CN-126 erwartungsgemäß eine sehr große Abweichung, besonders in Richtung grün, zu erkennen: Beide Gesichtshälften wirken völlig unterschiedlich.
- Der Direktvergleich mit der HMI bringt ein mittelprächtiges Ergebnis; ihr Licht hat einen deutlich stärkeren Grünanteil als jenes des ARRI LoCasters.

Bei allen Beispielen bis auf Leuchte 3 halten sich die Abweichungen jedoch in Grenzen.

### 4.4.6 Resümee der Ergebnisse

Abschließend stellt der Autor fest, dass seine Praxistests die vorhergehenden theoretischen Erkenntnisse zum Thema der LED-Technik weitestgehend bestätigen.

Die Farbwiedergabeproblematik der Leuchten der ersten Generation wird durch große Anstrengungen der Leuchtmittel- und Lampenhersteller zunehmend beseitigt.

Zudem hängt die Wichtigkeit dieser auch eng von dem Einsatzgebiet und der praktischen Benutzung der Leuchten ab: Mit allen Film-/Fernsehleuchten ab der preislichen Mittelklasse in diesem Test lassen sich im zum Beispiel im Reportagebereich absolut zufriedenstellende Ergebnisse erzielen. Wer sein Motiv ausschließlich mit Leuchten eines Typs beleuchtet und zudem den elektronischen Weißabgleich benutzt, wird wohl mit keiner diesen Leuchten Bilder produzieren, die beanstandet werden würden – und kann beim Dreh alle Vorteile genießen, die LED-Leuchten heute schon mit sich bringen: hohe Laufzeiten mit Akkus, Robustheit, kein Wechseln von Brennern etc.

In Arbeitsbereichen hingegen, in denen die absolut korrekte Wiedergabe von Farben eine tragende Rolle spielt, sieht die Lage kritischer aus: Die ARRI LoCaster ist mit einem CRI von 90<sup>267</sup> die einzige Leuchte dieses Tests, welche speziell für die Arbeit in solchen Umgebungen konstruiert worden ist, was sich bei dem Praxisvergleich klar bemerkbar macht. Der "Color Split"-Vergleich auf Fotoseite 5 verdeutlicht die unterschiedlichen Anwendungsbereiche: Die speziell auf saubere Farbigkeit ausgelegte LoCaster gibt viele der Farben deutlich akkurater und satter wieder als die hauptsächlich für den Reportageeinsatz bestimmte Felloni. Wenn es also auf perfekte Farben ankommt und verschiedene Lichtquellen gemischt werden sollen, ist man weiterhin mit bewährten Mitteln (wie HMI oder Kinoflo) auf der sicheren Seite; mit den neuen, farbakkuraten LED-Leuchten der High-End-Klasse gibt es jedoch seit kurzem die ersten Geräte, die in diesem Bereich mitspielen können. Praxisnahe Tests mit der jeweiligen Kamera sollten aber auch dabei unbedingt vorher durchgeführt werden: Es existieren eben noch keine Langzeiterfahrungen.

---

<sup>267</sup> Vgl. [http://www.arri.com/lighting/lighting\\_emea/led\\_systems/caster\\_series/locaster.html#\\_blank](http://www.arri.com/lighting/lighting_emea/led_systems/caster_series/locaster.html#_blank), letzter Aufruf 3.12.2011

## 5 Schluss

Diese Arbeit sollte aufgezeigt haben, dass es schon heute keinen Grund gibt, LED-Leuchten im Film- und Fernsehbereich prinzipiell pauschal abzulehnen: Die Probleme der Leuchten der ersten Generation sind bereits heute in High-End-Modellen zu großen Teilen gelöst worden.

Diese Entwicklung geht durch immensen Forschungsdruck der großen Leuchtmittelhersteller und Lampenhersteller mit einer derartigen Geschwindigkeit voran, dass Fortschritte im Jahrestakt zu erwarten sind. Dedo Weigert sprach dazu auf einem seiner Seminare:

"Wohl kaum einer geht nach dem Kauf seines neuen Laptops zum Notar, um es in sein Testament schreiben zu lassen und es seinen Enkeln zu vererben. Genauso kann man es mit derzeitigen LED-Leuchten sehen."

In der Quellen des Autors, einem umfassenden Kompendium zum Thema Licht aus dem Jahr 2000, wurde überzeugt behauptet, dass Projektionen auch in Zukunft nicht mit LEDs realisierbar sein werden – jeder wird heutzutage durch einen Besuch eines Elektronikmarkts und einem Blick auf die kleinen LED-Projektoren vom Gegenteil überzeugt.

So wird auch die Problematik der Farbwiedergabe bei LED-Filmlampen wohl in absehbarer Zeit auf breiter Ebene gelöst sein. Der Praxistest in dieser Arbeit sollte gezeigt haben, dass dies, zumindest zu einem Teil, bereits geschehen ist.

Nichtsdestotrotz sollte man sich bei der Arbeit mit den derzeitigen Leuchten auch ihrer noch vorhandenen Probleme bewusst sein; Bei Reportageeinsätzen kann man wohl bereits heute mit den meisten Modellen der großen Hersteller die Vorteile der LED-Technologie nutzen, ohne nennenswerte Nachteile zu erleben – so lange man sich dabei an die Regeln hält, mit gleichartigen Leuchten zu arbeiten und das Licht nicht mit anderen Leuchtentypen zu mischen.

Für bestimmte Zwecke, z. B. als Effektleuchten, kann man sogar nicht für Filmzwecke optimierte Modelle erfolgreich einsetzen.

In sehr farbkritischen Bereichen, wie der Werbefotografie oder High-End-Filmproduktion, ist jedoch besondere Vorsicht geboten. Auch die komplette Umrüstung eines TV-



Studios ist ein Unterfangen, welches sehr sorgfältig getestet und überdacht werden sollte. Die Chancen, dabei mit den neuesten LED-Leuchten der Oberklasse ein gutes Ergebnis zu erzielen, sind vorhanden und werden immer größer. Bis es jedoch verlässliche Langzeiterfahrungswerte gibt, bleibt so ein Unterfangen, zumindest in Teilen, ein Experiment.

Es lohnt sich aber in jedem Fall, diese Technologie als Kameramann, Oberbeleuchter oder als Produzent schon heute ernsthaft bei der Wahl der Mittel für sein kommendes Projekt miteinzubeziehen. Ob man nun damit "den Planeten retten will" – oder schlichtweg eine leichte, effiziente Leuchte für den mobilen Einsatz haben möchte.

## Glossar

E27-Sockel: Fassung für eine typische Haushaltsglühbirne

AMPAS: Ehrenamtliche professionelle Organisation, die vor allem für die Verleihung der „Academy Awards“ („Oscars“) bekannt ist

ARRI: Deutscher Filmtechnikhersteller

Bayer-Matrix: Foto- oder Videosensor der mit einem schachbrettartigen Farbfilter überzogen ist

CCD: Gängiger elektronischen Bildsensortyp

Chimera: Diffusionsvorsatz für Scheinwerfer, erzeugt weiches Licht

CMOS: Gängiger elektronischen Bildsensortyp

COB-Type (engl. Chip on Board): LED-Chip, der direkt auf die Leiterplatte montiert ist

Colour Rendering Index (CRI): Gängigster Index für Farbwiedergabe bei Leuchtmitteln

Dedolight: Deutscher Filmtechnikhersteller

DMX: Digitales Protokoll zur Fernsteuerung von Film- und Equipmentlicht

DSLR: Digitale Spiegelreflexkamera

Floodstellung: Einstellung einer Stufenlinsen-Filmscheinwerfers, bei dem der Lichtkegel breit gefächert ist

Fresnel: Platzsparende Bauform einer optischen Linse

Gekko: Amerikanischer Hersteller von Filmequipment

HMI: Typische Form von Tageslichtlampen im Filmbereich

Hochdruck-Halogenmetall dampflampe: Siehe HMI

ISO: Gängige Einstellgröße der elektronischen Verstärkung bei digitalen Fotokameras

Kelvin-Tile: Multifarb-LED-Verfahren

Kelvin: Gängige Angabe von Farbtemperaturen in Fotografie und Film. 3200°Kelvin entspricht Kunstlicht (warm), 5600°Kelvin entspricht Tageslicht (kalt)

Kinoflo: Amerikanischer Hersteller gängiger Leuchtstoffröhrenlampen für den Filmbereich

LEP: Auf Plasma basierende Technik zur Lichterzeugung

Litepanels: Amerikanischer Hersteller von LED-Leuchten für den Filmbereich

lm/W: (Lumen pro Watt) Gängige Angabe der Energieeffizienz von Leuchten und Leuchtmitteln

Macbeth Color-Charts: genormte Farbtafel mit 18 Farben und 6 Grauabstufungen

Na-Dampflampen: (Natriumdampflampe) Typische Leuchtmittelform bei Straßenlaternen

NAB: Amerikanischer Wirtschaftsverband der Fernseh- und Radioindustrie

Offset-Druck: Gängiges Druckverfahren von Büchern und Zeitschriften in hohen Auflagen

Onboard-Leuchte: Direkt auf einer Video- oder Filmkamera montierte Leuchte

Osram: Deutscher Hersteller von Leuchtmitteln

Panavision: Amerikanischer Filmtechnikhersteller

Ra-Wert: siehe CRI

Resorptionskurven: Spektralkurven des reflektierten Lichts

Rosco: Amerikanischer Filmtechnikhersteller

SMD-Type (engl. Surface Mount Device): Flache, auf eine Platine montierte LED

Spotstellung: Einstellung einer Stufenlinsen-Filmscheinwerfers, bei dem der Lichtkegel eng gebündelt ist

Tungsten: Kunstlicht

## Literaturverzeichnis

### Bücher

**BLANK, Richard:** *Film & Licht. Die Geschichte des Filmlichts ist die Geschichte des Films*, Köln 2009

**DUNKER, Achim:** *"Die chinesische Sonne scheint immer von unten". Licht- und Schattengestaltung im Film*, (4. Auflage). München 1993

**MEHNERT, Hilmar:** *Film - Licht – Farbe*, Halle 1958

**MÖLLERING, Detlef / SLANSKY, Peter C.:** *Handbuch der professionellen Videoaufnahme*, (2. Auflage), Essen 1993

**MÜLLER, Jens:** *Handbuch der Lichttechnik*, (3. Auflage), Bergkirchen 2006

**SHEVELL, Steven K. / WANDELL, Brian A. / SILVERSTEIN, Louis D.:** *The Science of Color* (2. Auflage), Oxford 2003

### Zeitschriften und Zeitungen

**MELZER, Erwin:** *LED-Führungslicht: kein einfacher Entwicklungsweg*, Fachzeitschrift FKT 10/2010, Herausgeben von Fernseh- und Kinotechnische Gesellschaft e.V., Berlin

**TELTEC:** *Katalog 2012*  
Herausgegeben von TELTEC GmbH, Wiesbaden

**ZIMMERMANN, Otto:** *Sternspektrographie in der Schule*,  
Sonderdruck aus Sterne und Weltraum, Heft 11/1989, Herausgegeben von Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH, Heidelberg

## **Internetquellen**

### **Amazon.de:**

Produktbeschreibung LED-Videoleuchte NG-126,  
[http://www.amazon.de/LED-Videoleuchte-NG-126-650-Camcorder-Kameras/dp/B0038WL6KK/ref=sr\\_1\\_2?s=ce-de&ie=UTF8&qid=1323305518&sr=1-2](http://www.amazon.de/LED-Videoleuchte-NG-126-650-Camcorder-Kameras/dp/B0038WL6KK/ref=sr_1_2?s=ce-de&ie=UTF8&qid=1323305518&sr=1-2)

### **ARRI:**

Produktbeschreibung LoCaster,  
[http://www.arri.com/lighting/lighting\\_emea/led\\_systems/caster\\_series/locaster.html#\\_blank](http://www.arri.com/lighting/lighting_emea/led_systems/caster_series/locaster.html#_blank)

### **Baader Planetarium:**

Produktbeschreibung Blaze-Gitter,  
[http://www.baader-planetarium.de/sektion/s31/download/blaze\\_kurz.pdf](http://www.baader-planetarium.de/sektion/s31/download/blaze_kurz.pdf)

### **Bundesamt für Strahlenschutz:**

Optische Strahlung, Laser, Grundlagen und Begriffsbestimmungen, 17.06.2009,  
<http://www.bfs.de/de/uv/laser/grundlagen.html>

### **B&H Photo - Video - Pro Audio:**

Übersicht – LED-Leuchten,  
<http://www.bhphotovideo.com/c/buy/LED-Light-Sources/ci/12248/N/4294551085>

### **Cineroid:**

Produktbeschreibung LED-Light,  
<http://www.cineroidusa.com/shop/step1.php?number=7#good4>

### **Dedo Weigert Film/Dedolight:**

Produktbeschreibung: Felloni,  
<http://www.dedoweigertfilm.de/dedo/default.php?la=0&pg=000004170307&id=Felloni&section=0>

LED Lighting Index,

<http://dedoweigertfilm.de/dedo/default.php?la=0&pg=00000417>

Dedo Weigert,

<http://dedoweigertfilm.de/dedo/default.php?la=0&pg=01>

Dedolight - a story of dedication and success,

<http://dedolight.com/www/dedolight/default.php?>

[la=&pg=000004000000&id=Dedolight\\_story&section=0](http://dedolight.com/www/dedolight/default.php?la=&pg=000004000000&id=Dedolight_story&section=0)

**GE Lighting:**

Color Rendering,

[http://www.gelighting.com/na/business\\_lighting/education\\_resources/learn\\_about\\_light/color\\_rendering.htm](http://www.gelighting.com/na/business_lighting/education_resources/learn_about_light/color_rendering.htm)

**Kino Flo Lighting Systems:**

<http://kinoflo.com/Kino%20Flo%20lamps/True%20Match/True%20Match.htm#kits>

**Kodak:**

"Plugged In" - Color and Light, 29. März 2010,

<http://pluggedin.kodak.com/pluggedin/post/?id=2995926>

**Leuchtdioden.org:**

Hersteller von LED's sowie LED-Chips,

[http://www.leuchtdioden.org/index.php/LED\\_Hersteller](http://www.leuchtdioden.org/index.php/LED_Hersteller)

**LED-Info:**

Weißlicht-LED,

<http://www.led-info.de/grundlagen/leuchtdioden/weisslicht-led.html>

**LED-Shift:**

CRI - Color Rendering Index,

<http://www.ledshift.com/LED-CRI-Farbwiedergabeindex.html>

**Litepanels:**

Produktbeschreibung: 1x1 Bi-Focus,

[http://www.litepanels.com/language/pages/onebyone\\_bifocus.php](http://www.litepanels.com/language/pages/onebyone_bifocus.php)

**LiveDesign:**

"Fluorescents for filmmakers", 1. Juni 1999,

[http://livedesignonline.com/mag/lighting\\_fluorescents\\_filmmakers/](http://livedesignonline.com/mag/lighting_fluorescents_filmmakers/)

**Nanguang:**

Produktbeschreibung LED-Videoleuchte NG-126,

<http://www.nanguang.de/led-videoleuchte/nanguang-led-videoleuchte-ng-126-650-lux.html>

**Ocean Optics:**

Produktbeschreibung Maya2000 Pro,

<http://www.oceanoptics.com/products/maya.asp>

**Osram:**

Die wichtigsten lichttechnischen Grundbegriffe,

[http://www.osram.de/\\_global/pdf/Professional/Display\\_Optic/Display\\_Optic\\_NEU/Licht-technische\\_Grundbegriffe.pdf](http://www.osram.de/_global/pdf/Professional/Display_Optic/Display_Optic_NEU/Licht-technische_Grundbegriffe.pdf)

Produkt-Trainings-Programm,

[http://osram.de/osram\\_de/Tools\\_%26\\_Services/Training\\_%26\\_Wissen/Webbased\\_Training/ptp\\_de/PTP\\_Popup.jsp](http://osram.de/osram_de/Tools_%26_Services/Training_%26_Wissen/Webbased_Training/ptp_de/PTP_Popup.jsp)

**Philips:**

Online-Schulung – Leuchtstofflampen,

[http://www2.philips.de/licht/onlineacademy/samples/el\\_leuchtstoffl.pdf](http://www2.philips.de/licht/onlineacademy/samples/el_leuchtstoffl.pdf)

**ScreenLight & Grip:**

LED-Fresnel,

[http://www.screenlightandgrip.com/html/emailnewsletter\\_generators.html#anchorLED](http://www.screenlightandgrip.com/html/emailnewsletter_generators.html#anchorLED)  
Fresnel

**The Academy of Motion Picture Arts and Sciences – AMPAS:**

Solid State Lighting Project,

Video: Measurements,

[http://www.oscars.org/video/watch/stc\\_ssl\\_pp\\_erland5.html](http://www.oscars.org/video/watch/stc_ssl_pp_erland5.html)

Video: Summary,

[http://www.oscars.org/video/watch/stc\\_ssl\\_pp\\_erland7.html](http://www.oscars.org/video/watch/stc_ssl_pp_erland7.html)

**Thüringer Landessternwarte Tautenburg:**

Lektüre Spektroskopie,

<http://www.tls-tautenburg.de/research/artie/lectures/spektroskopie.pdf>

**Wikipedia:**

Leuchtdiode, (Stand: 16.11.2011)

<http://de.wikipedia.org/wiki/Led>

Fraunhoferlinie (Stand: 10.11.2011)

<http://de.wikipedia.org/wiki/Fraunhoferlinie>



## Eigenständigkeitserklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und nur unter Verwendung der angegebenen Literatur und Hilfsmittel angefertigt habe. Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus Quellen entnommen wurden, sind als solche kenntlich gemacht. Diese Arbeit wurde in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt.

---

Ort, den TT. Monat JJJJ

Vorname Nachname